

รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนาพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือตอนบน
2. โครงการวิจัย : การพัฒนาและใช้ประโยชน์สีย้อมธรรมชาติจากห้อม
กิจกรรม : การผลิตสีย้อมห้อมเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : อิทธิพลของสังกะสีในการผลิตเนื้อห้อมให้ได้สีย้อมที่มีคุณภาพ
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): The Effect of Zinc Addition on The Production of Hom Dye form *Strobilanthes cusia* (Nees).
4. คณะผู้ดำเนินงาน
หัวหน้าการทดลอง : นายนราทร สุขวิเสส กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
ผู้ร่วมงาน : วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
ประยูร เอ็นมาก กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
ประนอม ใจอ้าย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่

5. บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของสังกะสีในการผลิตเนื้อห้อมให้ได้สีย้อมที่มีคุณภาพ ดำเนินการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2561-2562 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนของสังกะสีที่เหมาะสมต่อการผลิตเนื้อห้อมจากต้นห้อมของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่ เพื่อให้ได้เนื้อห้อมที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการเตรียมเป็นน้ำย้อมห้อมทำให้ผ้าที่ผ่านการย้อมห้อมแล้วสีไม่ตกและผ้าย้อมห้อมมีความคงทนของสีต่อการใช้งาน จากการทดลองพบว่าการเตรียมเนื้อสีห้อมด้วยจากการเติมสังกะสีออกไซด์ (ZnO) 24 กรัม เนื้อสีห้อมให้ค่าสีน้ำเงินสูงสุด รวมถึงผ้าย้อมห้อมยังมีค่าความคงทนของสีต่อการซักและแสงดีที่สุดด้วย ผลการศึกษาจำนวนครั้งในการย้อมพบว่าการย้อมในน้ำย้อมที่เตรียมจากเนื้อห้อมวิธีดังกล่าวจำนวน 2 ครั้ง สีของผ้าย้อมให้ค่าสีน้ำเงิน (b^*) สูงสุดเท่ากับ -21.33 และผลการศึกษาด้วยเทคนิค FTIR เพื่อตรวจสอบหาสารอินดิโกซึ่งเป็นสารให้สีของห้อม พบพีคที่ตำแหน่งความยาวคลื่นเท่ากับ 871.75 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของสารประกอบ

tyrosine หรือ aromatic amine acid และที่ตำแหน่ง $1,624\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเกิดจากหมู่ฟังก์ชัน C=O ซึ่งเป็นโครงสร้างโมเลกุลของสารอินดิโก้

คำหลัก : ห้อม อินดิโก้ ปูนขาว (แคลเซียมออกไซด์) ผงสังกะสี และซิงค์ออกไซด์

Abstract

The effect of Zinc addition on the production of Hom dye from *Strobilanthes cusia* (Nees) was conducted at Postharvest and Processing Research and Development Division during 2018-2019. It aimed study to the proportion of zinc that is suitable for the production of hom dye from *Strobilanthes cusia* (Nees) at Phrae Research and Development Center. In order to obtain a quality hom dye suitable for preparation as dyeing water so that fabric dyed does not bleed and durable for use. The result showed addition of 24 grams of Zinc Oxide (ZnO) gave the highest blue value (b^*) equal to -21.33 and dyes fabric has the best color fastness value to wash and light. FTIR analysis identified the spectra of indigo substance of Hom dye at the wavelength of 871.75 and $1,624\text{ cm}^{-1}$ which is the locations of tyrosine or aromatic amine acid and the C = O group of indigo substances, respectively.

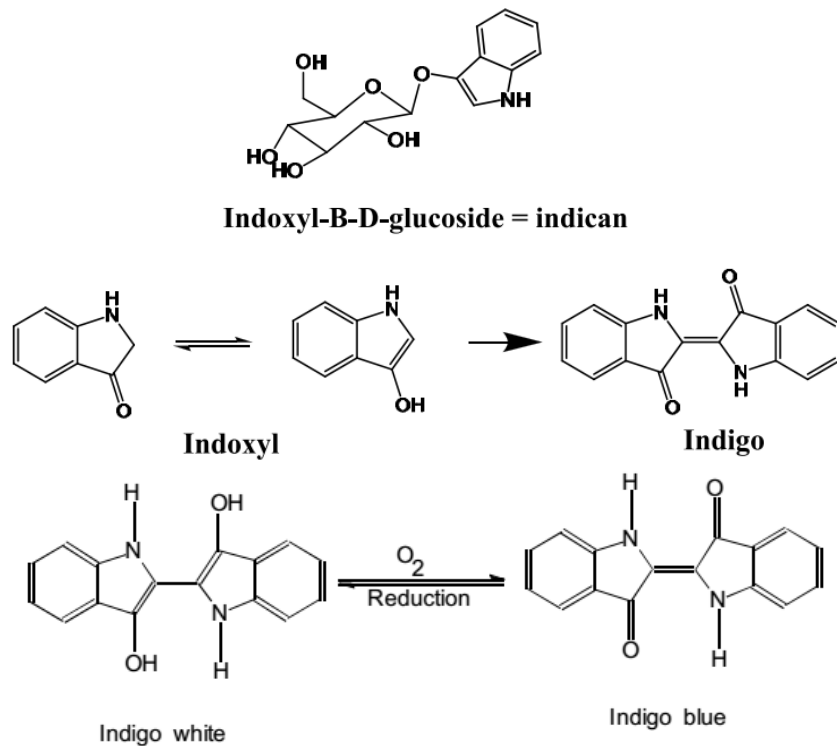
Key words: Nees, Indigo, CaO, Zn powder, and ZnO

6. คำนำ

การย้อมผ้าหม้อห้อมในปัจจุบันมักมีการใช้สีสังเคราะห์ทางเคมีมาใช้ในการย้อมผ้า เนื่องจากหาซื้อง่าย และสะดวกต่อการนำไปใช้ แต่สีสังเคราะห์นั้นเกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ทำให้เสียภาพลักษณ์ต่อคุณภาพของผ้าหม้อห้อมของจังหวัดแพร่ที่มีสำคัญกับวิถีชีวิตของคนเมืองแพร่ ซึ่งเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีการนำต้นห้อมมาใช้ประโยชน์จากสีน้ำเงินครามที่สกัดได้ด้วยวิธีทางธรรมชาติด้วยการหมักในน้ำ ผ่านกรรมวิธีต่างๆ และนำมาย้อมผ้าจนเป็นเอกลักษณ์ที่เรียกว่า ผ้าหม้อห้อม หลังจากนั้นจึงนำไปตัดเย็บให้เป็นเสื้อผ้าแบบต่าง ๆ แต่ในมุมมองของผู้ประกอบการ การที่ผลิตภัณฑ์พื้นบ้านจะยืนอยู่ในตลาดได้อย่างมั่นคง ต้องตอบโจทย์ของผู้บริโภคในปัจจุบันที่เน้นเรื่องความเป็นธรรมชาติ สุขภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจุดด้อยของผ้าฝ้ายย้อมห้อมไม่ใช่แค่ใช้ระยะเวลาหมักย้อมที่นานเท่านั้น แต่สีธรรมชาติยังซีดจางได้ง่าย เมื่อเก็บไว้นานวันอาจเกิดเชื้อราบนผ้า (จิริฐิติกาลมานะ, 2555)

ต้นห้อม หรือฮ้อม เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งที่ให้สีครามเหมือนกับต้นครามแต่เป็นพืชต่างวงศ์กัน โดยห้อมอยู่ในวงศ์ Acanthaceae ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Strobilanthes cusia* (Nees) Kuntze เมื่อนำมาหมักในน้ำจะให้สารที่เรียกว่า อินดิแคน (Indican) มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ ไม่มีสี เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนจะเกิดเป็นกลูโคส

และสารอินโดซิล (Indoxy) เมื่ออินโดซิลถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศจะได้สารสีน้ำเงิน ที่เรียกว่า อินดิโก (Indigo / Indigo blue)



ที่มา : Vuorema, 2008

มีสูตรโมเลกุลทางเคมี คือ $C_{16}H_{10}N_2O_2$ โดยทั่วไปอินดิโกจัดอยู่ในสีย้อมธรรมชาติ เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ในสภาวะต่างได้สารละลายเป็นสีเหลืองใส เรียกว่า ลิวโคอินดิโก้ (Indigo-white หรือ Leuco form) Indigo white จะแทรกตัวเข้าไปในเส้นใยฝ้าย เรียกกระบวนการนี้ว่า Skying เมื่อ Leuco form ถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงินติดที่เส้นใยฝ้าย (Vuorema, 2008 และ Rajeshwar *et al.*, 2008)

ลักษณะการเกิดสีดังกล่าวสีห้อมจึงอยู่ในกลุ่มวิธีสีย้อมธรรมชาติสีแหวด จากการแยกชนิดสีย้อมธรรมชาติ ออกเป็น 3 วิธีคือ สีย้อมธรรมชาติประเภทย้อมตรง (Direct Dyes) สีย้อมธรรมชาติประเภทสีแหวด (Vat Dyes) และสีย้อมธรรมชาติประเภทมอร์แดนต์ (Mordant Dyes หรือ Adjective Dyes หรือ Indirect Dyes) ซึ่งในการย้อมสีแหวดต้องอาศัยตัวรีดิวซ์ที่ช่วยกระตุ้นการเปลี่ยน Indigo blue ให้อยู่ในรูป Indigo white เข้าสร้างพันธะไฮโดรเจนกับเซลล์ลูโลสของเส้นใยฝ้ายทำให้เกิดการติดสีน้ำเงินของ Indigo ได้ดีขึ้นไป ตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เช่น โซเดียมไดไทโอไนต์ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($Na_2S_2O_4/NaOH$) แต่ผลข้างเคียงเกิดซัลไฟด์และไทโอซัลเฟตซึ่งเป็นพิษ จึงเปลี่ยนมาใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) (Meksi *et al.*, 2007) ในการศึกษาของอนูรัตน์ (2544) พบว่าวิธีการเตรียมสีย้อมแบบใช้สารจากธรรมชาติด้วยการหมัก Indigo blue ในน้ำด่างขี้เถ้าเพื่อให้เกิด Indigo white และผลของน้ำมะขามในการปรับสภาพต่างให้เหมาะสม pH 10.5-11.5 พบว่าเส้นใยติดสีครามของอินดิโก้ได้สีเข้มและสดใส และ Yoshiko *et al.* (1999) ได้ศึกษาการเตรียมน้ำย้อมด้วยวิธี Zinc lime vat โดย

ผสมผงผงสังกะสี Indigo blue ปูนกินหมาก เมทานอล และน้ำอุ่น 60 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เกิด Indigo white ได้เช่นกัน ส่วนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าหม้อห้อมให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นนั้นได้มีการนำโลหะซิงค์นาโน มาทำเป็นผ้าครามซิงค์นาโน (หมู่บ้านผ้าครามนาโน, 2555) โดย ดร.กิตติพงศ์ (2558) ได้วิจัยพบว่า ซิงค์ออกไซด์ มีสมบัติพิเศษหลายประการ ได้แก่ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย มีสมบัติที่ดีในด้านการดูดกลืนแสง และใช้ในการผลิตสิ่งทอป้องกันแบคทีเรียและเชื้อรา การกำจัดกลิ่นของเสื้อผ้า เสื้อผ้าทำความสะอาดตัวเอง ผลิตเส้นใยและสิ่งทอที่สามารถป้องกันรังสี UV ได้

ทั้งนี้ในการพัฒนาสีห้อมให้มีคุณสมบัติต่างๆที่ดีขึ้น จากกระบวนการผลิตผ้าหม้อห้อมที่ซับซ้อนใช้ระยะเวลาในการผลิตค่อนข้างนานไม่ว่าจะเป็นการหมักสีห้อม การทำเนื้อสีห้อมด้วยปูนขาว (แคลเซียมออกไซด์) การเตรียมสีห้อมด้วยน้ำค้างหรือน้ำขี้เถ้า และการย้อมแบบดั้งเดิม เป็นต้น ทุกขั้นตอนล้วนแต่มีกรรมวิธีและเทคนิคเฉพาะตัว หากใครไม่มีความรู้หรือความเชี่ยวชาญที่สั่งสมมานานพอก็อาจจะผลิตออกมาให้มีคุณภาพและมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่ไม่พบในชุมชนท้องถิ่นอื่นๆ และควรสืบทอดกรรมวิธีเหล่านี้ให้คงอยู่ต่อไป เพื่อนำทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการเพิ่มรายได้และส่งเสริมความเข้มแข็งให้กับชุมชนสามารถผลิตสินค้าในเชิงพาณิชย์ได้ จึงมีการพัฒนาขั้นตอนการเตรียมเนื้อห้อมด้วยการเพิ่มผงสังกะสีร่วมกับปูนขาวในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสีห้อมทำเป็นผลิตภัณฑ์สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปจากห้อมต่อไป

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์

1. ใบห้อม
2. แคลเซียมออกไซด์ (CaO)
3. ผงสังกะสี (Zn)
4. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
6. โซเดียมไทโอเนต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

- วิธีการ

1. เก็บเกี่ยวห้อมโดยการตัดจากยอดลงไป 15-20 เซนติเมตร นำมาแช่น้ำโดยใช้อัตราส่วนห้อมสดต่อน้ำสะอาด 1:10 (w/w) นำวัสดุคุดใบห้อมให้จมน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเอาเศษกิ่งก้านใบห้อมออกทิ้งแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง

2. เติมน้ำผสมแต่ละกรรมวิธีโดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) มี 7 กรรมวิธี ๓ ซ้ำ ดังนี้ 1) CaO 120 กรัม (เปรียบเทียบ) 2) CaO 120 กรัม และ Zn 12 กรัม 3) CaO 120 กรัม และ Zn 24 กรัม 4) CaO 120 กรัม และ Zn 36 กรัม 5) CaO 120 กรัม และ ZnO 12 กรัม 6) CaO 120

กรัม และ ZnO 24 กรัม และ 7) CaO 120 กรัม และ ZnO 36 กรัม จากนั้นต้มน้ำหอมให้เกิดฟองด้วยเครื่องตีห้อม จนเกิดฟองสีน้ำเงิน ทำจนกระทั่งฟองยุบตัวลงจึงหยุดแล้วนำไปกรองด้วยผ้าดิบทิ้งไว้จะได้เนื้อห้อมเปียก

3. เตรียมน้ำย้อมห้อมด้วยการเนื้อห้อมเปียกที่ได้มาละลายในน้ำต่าง pH 12

4. หลังจากเนื้อห้อมละลายแล้ว ทำการปรับ pH ให้เท่ากับ 11 และดูแลหม้อย้อมทุกวันโดยโจกน้ำย้อม ทุกเช้าและเย็น

5. เมื่อน้ำย้อมแต่ละกรรมวิธีเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเขียวจึงนำผ้าฝ้ายขนาด 20x20 เซนติเมตร ย้อม จำนวน 3 ครั้งๆ ละ 5 นาที โดยเก็บตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ย้อมจำนวน 1 2 และ 3 ครั้ง ตามลำดับ ส่งตัวอย่างผ้าที่ย้อม วัดระดับสีที่ห้องปฏิบัติการ

- ระยะเวลา (เริ่มต้น-สิ้นสุด) ตุลาคม 2561 ถึง กันยายน 2562

- สถานที่ดำเนินงาน กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

วิธีการเตรียมเนื้อสีห้อมและน้ำย้อมห้อม

จากการเตรียมน้ำหอมด้วยการหมักยอดห้อมสดในน้ำสะอาดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าน้ำหอมที่สกัดได้มี สีเขียวใส ซึ่งเป็นลักษณะของสารอินดิแคน (indicin) จากขั้นตอนการหมักเมื่อถูกไฮโดรไลสจะเกิดเป็นสารอินทร ออกซิล (indoxyl) (อนูรัตน์, 2555) และเมื่อนำมาเติมแคลเซียมออกไซด์และสังกะสีตามสัดส่วนแต่ละกรรมวิธีและ ทำการต้มน้ำหอมด้วยเครื่องตีห้อมเพื่อให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยา สารอินทรออกซิลจะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนใน อากาศอย่างรวดเร็ว เปลี่ยนเป็นสีครามหรือสีของสารอินดิโก้ (indigo) มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ จนกระทั่งฟองยุบ หายไปจึงหยุดตีแล้วนำน้ำหอมที่ได้กรองด้วยผ้าดิบและทิ้งไว้ให้จนเหลือแต่ตะกอนคล้ายโคลนเรียกว่า เนื้อห้อมหรือ ห้อมเปียกมีสีน้ำเงินเข้ม (ภาพที่ 1) หลังจากทำการกรองทิ้งไว้จนเหลือแต่เนื้อห้อมบนผ้ากรองแล้ว ดังภาพที่ 1 (e) เก็บเนื้อสีห้อมเปียกที่ได้ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเนื้อสีห้อมที่เตรียมได้จากแต่ละกรรมวิธี ได้น้ำหนักเนื้อห้อมเปียก 440 – 540 กรัม และมีปริมาณสารอินดิโก้ 0.78-1.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 1 เส้นสเปกตรัม FTIR (a) ผ้าฝ้าย (b) สามารถฐานอินดิโก้ (c) ฝ้าย้อมห้อมที่เตรียมจาก CaO (d) ฝ้าย้อมห้อมที่เตรียมจาก CaO/Zn 24 กรัม (e) ฝ้าย้อมห้อมที่เตรียมจาก CaO/ZnO 24 กรัม

หลังจากเก็บเนื้อสีห้อมเปียกที่ได้ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเนื้อสีห้อมที่เตรียมได้จากแต่ละกรรมวิธี พบว่าการเติมสังกะสีมีผลทำให้ได้เนื้อสีห้อมเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนของสังกะสีที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำเนื้อสีห้อมมาทำการด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C มาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์อินดิโก้ที่ผสมอยู่ในเนื้อสีด้วยวิธี Spectrophotometry ตามวิธีทดสอบของ ไพศาล (2543) ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินดิโก้จากเนื้อสีห้อมเปียก พบว่าการเติมสังกะสีเพิ่มขึ้นจากการเติมแคลเซียมออกไซด์ ทำให้ได้ปริมาณอินดิโก้เพิ่มสูงขึ้นโดยเมื่อเติม ZnO ปริมาณ 24 กรัม มีเปอร์เซ็นต์ของอินดิโก้สูงสุดที่ 0.91 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คิดเป็นปริมาณสารอินดิโก้ทั้งหมด 4.51 กรัม ต่อยอดห้อมสด 1 กิโลกรัม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักเนื้อสีห้อมเปียก และปริมาณสารอินดิโก้ในเนื้อสีห้อมเปียก

กรรมวิธี	น้ำหนักห้อมเปียก (กรัม)	ปริมาณอินดิโก้ (%wt.)
CaO	444.20	0.83
CaO/Zn 12 กรัม	472.57	0.86

CaO/Zn 24 กรัม	512.32	0.89
CaO/Zn 36 กรัม	540.82	0.78
CaO/ZnO 12 กรัม	472.50	0.86
CaO/ZnO 24 กรัม	495.64	0.91
CaO/ZnO 36 กรัม	537.52	0.88

จากการที่สารอินดิโก้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ดีในด่าง ดังนั้นการเตรียมน้ำย้อมจากเนื้อห้อมเปียกจึงต้องทำการปรับสภาพน้ำให้เป็นด่าง pH ประมาณ 12-13 เมื่อเนื้อห้อมละลายแล้วจึงทำการปรับ pH ด้วยกรดให้ต่ำกว่า 12 และทำการเติมอากาศให้น้ำย้อมทุกวันๆละครั้ง เป็นระยะเวลา 2-3 วัน หรือจนกว่าน้ำย้อมจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองอมเขียว แสดงว่าสารอินดิโก้ถูกรีดิวส์ให้เป็น ลิวโคอินดิโก้ (Leucoindigo หรือ White indigo) โดยสมบูรณ์ เพราะเมื่อทำการจุ่มย้อมสารลิวโคอินดิโก้จะถูกดูดซับและติดที่เส้นใยผ้า และสารนั้นสัมผัสกับอากาศก็จะรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศกลายเป็นสีน้ำเงินติดที่เส้นใยผ้า ในการย้อมห้อมจะทำการย้อมวันละ 2 ครั้ง เท่านั้น คือ ตอนเช้าและตอนเย็น ทั้งนี้เพื่อให้สารอินดิโก้ที่มีอยู่ในน้ำย้อมนั้นเปลี่ยนสถานะเป็น ลิวโคอินดิโก้ ให้มีปริมาณสีมากพอที่จะจุ่มย้อมผ้าได้ โดยน้ำย้อมห้อมที่ผ่านการย้อมแต่ละครั้งจะต้องทำการเติมอากาศก่อน เพื่อให้มีปริมาณสารลิวโคอินดิโก้เพียงพอต่อการย้อมครั้งต่อไป ส่วนความเข้มของสีครามบนผ้าจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่จุ่มย้อม (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2548)



CaO CaO/Zn12 CaO/Zn24 CaO/Zn36 CaO/ZnO12 CaO/ZnO24 CaO/ZnO36

ภาพที่ 2 ลักษณะความเข้มสีของผ้าย้อมห้อมที่ผ่านการย้อมจำนวน 3 ครั้ง จากเนื้อห้อมที่เตรียมแต่ละกรรมวิธี

จากผลการเปรียบเทียบสีของผ้าที่ผ่านการย้อมห้อมจำนวน 3 ครั้ง (ภาพที่ 2) พบว่าผ้าที่ย้อมด้วยห้อมเปียกที่เตรียมจากกรรมวิธี CaO/ZnO 24 กรัม มีความเข้มของสีห้อมสูงสุดจากการทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของผ้าที่ผ่านการย้อมแต่ละครั้ง (ตารางที่ 2) พบว่าผ้าที่ย้อมด้วยสีห้อมที่เตรียมได้จากกรรมวิธีที่เติม ZnO 24 กรัม และทำการจุ่มย้อม 2 ครั้ง ให้ค่าสีน้ำเงินสูงสุด (b^*) ได้ค่าเท่ากับ -21.33

ตารางที่ 2 ค่าสี (L , a^* , b^*) ที่วัดได้จากผ้าย้อมห้อมจำนวน 3 ครั้ง

กรรมวิธี	จำนวนครั้งการ ย้อม	ค่าสี		
		L (ความสว่าง)	a* (เขียว-แดง)	b* (น้ำเงิน-เหลือง)
CaO	1	49.14	-1.85	-19.33
	2	49.14	-1.13	-18.75
	3	45.51	-0.63	-19.23
CaO/Zn 12 กรัม	1	64.80	-3.4	-6.82
	2	73.32	-3.99	-8.57
	3	73.41	-4.14	-8.12
CaO/Zn 24 กรัม	1	66.04	-3.82	-8.45
	2	74.10	-4.14	-7.25
	3	71.15	-4.37	-9.50
CaO/Zn 36 กรัม	1	72.03	-3.80	-8.18
	2	72.03	-4.11	-9.18
	3	70.80	-4.20	-9.62
CaO/ZnO 12 กรัม	1	46.97	-0.67	-20.90
	2	46.97	-0.50	-19.54
	3	45.43	-0.26	-20.40
CaO/ZnO 24 กรัม	1	49.13	-1.88	-19.19
	2	44.34	-0.19	-21.33
	3	45.64	-0.93	-19.60
CaO/ZnO 36 กรัม	1	46.58	-1.49	-19.64
	2	46.58	-0.43	-20.61
	3	45.42	-0.64	-19.33

ตารางที่ 3 ระดับค่าความคงทนของสีต่อการซักและแสงของผ้าฝ้ายหลังจากการย้อมด้วยสีห้อม

กรรมวิธี	ระดับความคงทนของสีต่อการซัก		ระดับความคงทนของ
	การตกสีติดผ้าฝ้าย	การเปลี่ยนแปลงสี	สีต่อแสง
CaO	4	3	4
CaO/Zn 12 กรัม	4	2-3	3
CaO/Zn 24 กรัม	4	2-3	3-4
CaO/Zn 36 กรัม	4	2-3	3-4

CaO/ZnO 12 กรัม	4	3	>4
CaO/ZnO 24 กรัม	4	3	>4
CaO/ZnO 36 กรัม	4	3	4

หมายเหตุ : ระดับคุณภาพ: 1 = ต่ำมาก, 2 = ต่ำ, 3 = ปานกลาง, 4 = ดี, 5 = ดีมาก

ผลการทดสอบค่าความคงทนของสีย้อมของผ้าที่ผ่านการย้อมสีจำนวน 3 ครั้ง (ตารางที่ 3) พบว่าค่าความคงทนของสีต่อแสงซินอนอาร์กของผ้าย้อมหอมจากกรรมวิธีที่เติม ZnO ที่ปริมาณ 12 และ 24 กรัม ให้ค่าความคงทนของสีต่อแสงมีค่ามากกว่าระดับ 4 ซึ่งดีกว่ากรรมวิธีควบคุมซึ่งได้ค่าความคงทนของสีต่อแสงที่ระดับ 4 ส่วนกรรมวิธีที่เติมผงสังกะสี (Zn) ที่ปริมาณต่างๆ มีค่าความคงทนต่อแสงใกล้เคียงกันที่ระดับ 3-4 ส่วนผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก พบว่า ทุกตัวอย่างมีระดับค่าความคงทนของสีต่อการซักในด้านการตกสีเท่ากันคือ อยู่ในระดับ 4 (สีตกติดผ้าฝ้ายเล็กน้อย) แสดงว่าภาวะการย้อมที่เลือกใช้ไม่มีผลต่อระดับความคงทนของสีต่อการซัก และเมื่อดูที่ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีที่วัดได้จะเห็นว่ากรรมวิธีที่เติม ZnO ที่ปริมาณต่างๆ และกรรมวิธีควบคุมมีค่าเท่ากันที่ระดับ 3 (สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตเห็นได้) ส่วนกรรมวิธีที่เติมผงสังกะสี (Zn) มีค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าคือที่ระดับ 2-3 (สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตเห็นได้ถึงค่อนข้างมาก) แสดงว่าโมเลกุลสีถูกดูดซับบนเส้นใยผ้าได้น้อยกว่า

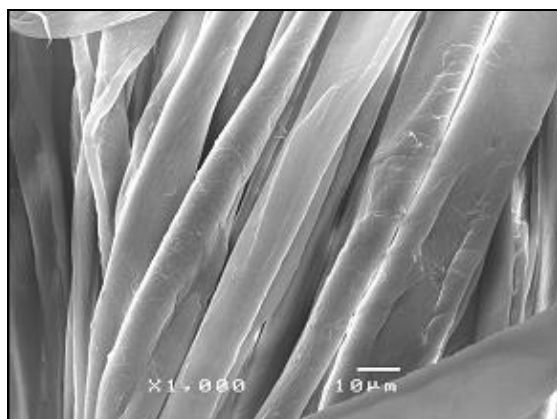
Table 4 ค่าสีของผ้าย้อมหอมก่อนการซักและหลังการซักจำนวน 5 ครั้ง

กรรมวิธี	ก่อนซัก/หลังซัก	Colour			
		L (ความสว่าง)	a* (เขียว-แดง)	b* (น้ำเงิน-เหลือง)	ΔE
CaO	ก่อนซัก	45.51	-0.63	-19.23	3.83
	หลังซัก	49.29	-1.26	-19.21	
CaO/Zn 12 กรัม	ก่อนซัก	73.41	-4.14	-8.12	3.54
	หลังซัก	76.87	-3.46	-7.80	
CaO/Zn 24 กรัม	ก่อนซัก	71.15	-4.37	-9.50	8.51
	หลังซัก	79.62	-4.89	-8.87	
CaO/Zn 36 กรัม	ก่อนซัก	70.80	-4.20	-9.62	13.89
	หลังซัก	83.47	-4.71	-3.94	
CaO/ZnO 12 กรัม	ก่อนซัก	45.43	-0.26	-20.40	6.17
	หลังซัก	51.04	-1.52	-18.15	
CaO/ZnO 24 กรัม	ก่อนซัก	45.64	-0.93	-19.60	6.24
	หลังซัก	51.69	-2.10	-18.60	

CaO/ZnO 36 กรัม	ก่อนซัก	45.42	-0.64	-19.33	3.45
	หลังซัก	48.73	-1.49	-18.87	

จากการทดสอบความซีดจางของสีผ้าย้อมหม้อมด้วยผงซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้าและฟิ้งแดดให้แห้งจำนวน 5 รอบการซัก ผลแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าผ้าย้อมหม้อมแต่ละกรรมวิธีมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นทุกกรรมวิธี ส่วนค่าสีน้ำเงิน (b^*) มีเพียงกรรมวิธีที่ใช้ CaO (กรรมวิธีควบคุม) ในการเตรียมสีหม้อมเพียงกรรมวิธีเดียวที่ค่าสีน้ำเงินมากที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาจากค่า ΔE ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความแตกต่างของสี พบว่าผ้าย้อมหม้อมที่เตรียมสีหม้อมจากกรรมวิธีที่ใช้ CaO/ZnO 36 กรัม มีค่า ΔE น้อยสุดที่ 3.45

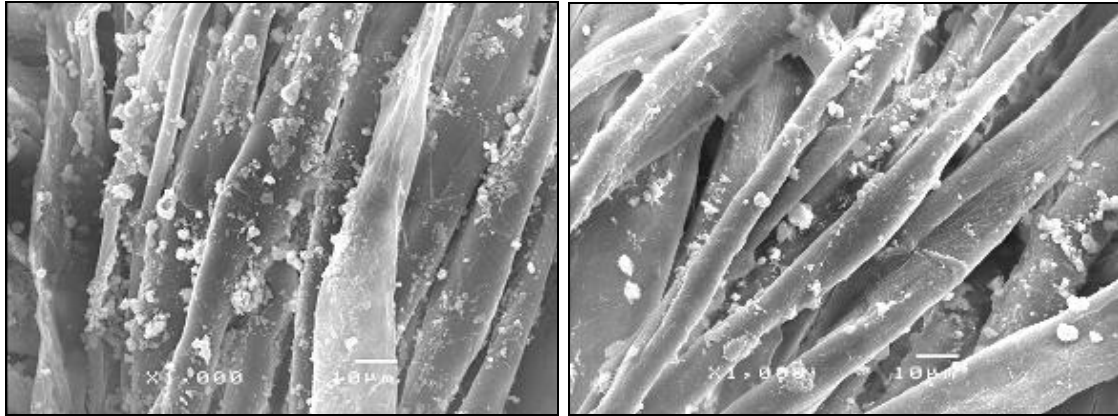
สำหรับผ้าย้อมหม้อมที่ได้เมื่อนำไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา (morphology) ด้วยเทคนิค SEM พบว่าเนื้อผ้าที่ผ่านการย้อมแล้วจะมีผลึกของแคลเซียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์เกาะติดอยู่บนเส้นใยผ้า (ภาพที่ 3 (b, c และ d)) เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ยังไม่ผ่านการย้อมจะไม่พบผลึกบนเส้นใยผ้า (ภาพที่ 3 (a)) และการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุหลักด้วยเทคนิค EDX ของตัวอย่างผ้าย้อมหม้อมพบองค์ประกอบของธาตุจากสีย้อมหม้อมที่ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ส่วนผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR กับสารอินดิโกมาตรฐาน (ภาพที่ 4 (b)) พบตำแหน่งพีกบนเส้นสเปกตรัมที่ตำแหน่งความยาวคลื่นเท่ากับ 871.75 cm^{-1} และสังเกตเห็นได้จากเส้นสเปกตรัมของตัวอย่างผ้าย้อมหม้อม (ภาพที่ 4 (c, d และ e)) เหมือนกัน ซึ่งเป็นตำแหน่งของสารประกอบ tyrosine หรือ aromatic amine acid ซึ่งเป็นโครงสร้างโมเลกุลของอินดิโก (Tayade and Adivarekar, 2014) และพีกที่ตำแหน่งประมาณ $1,624\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเกิดจากหมู่ฟังก์ชัน C=O ของสารอินดิโก (Chen C. และคณะ, 2008)



(a) ผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมหม้อม

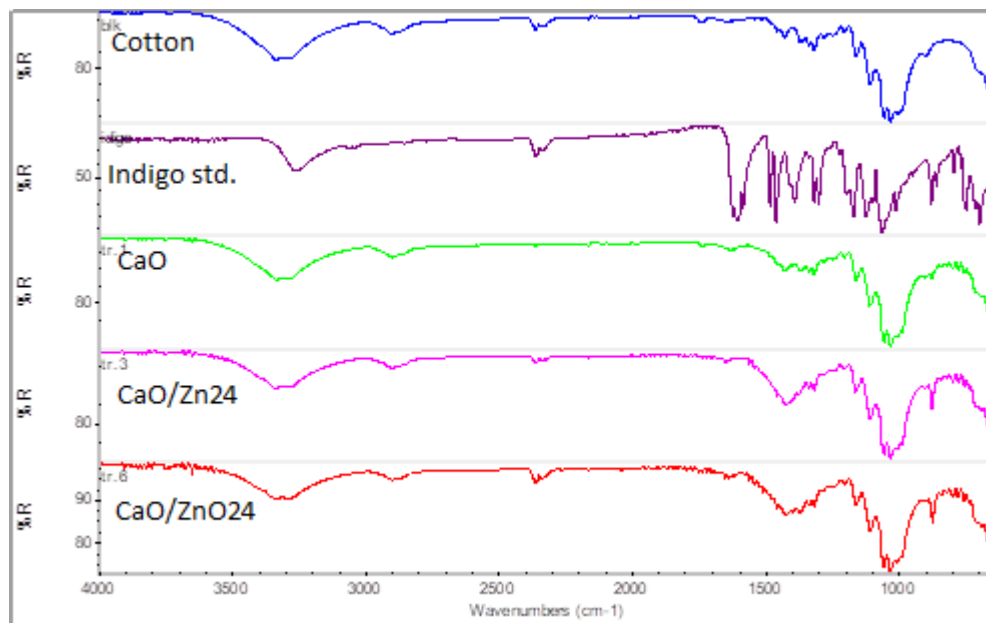


(b) ผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยหม้อมที่เตรียมจาก CaO



(c) ฝ้ายย้อมหอมที่เตรียมจาก CaO/Zn 24 กรัม (d) ฝ้ายย้อมหอมที่เตรียมจาก CaO/ZnO 24 กรัม

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายลักษณะเส้นใยผ้าด้วยกล้อง SEM



ภาพที่ 4 เส้นสเปกตรัม FTIR ของผ้าฝ้าย สารมาตรฐานอินดิโก้ และฝ้ายย้อมหอม

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการเติมซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น 24 กรัมและแคลเซียม 120 กรัม สามารถผลิตสีย้อมหอมได้มากกว่าการใช้แคลเซียมออกไซด์ 120 กรัม และเมื่อเตรียมน้ำย้อมแล้วสามารถทำการย้อมเพียง 2 ครั้ง สีของผ้าให้ค่าสีน้ำเงินสูงสุด นอกจากนี้จากการศึกษาความคงทนของการติดสี ให้ค่าความคงทนของสีต่อแสงมีค่ามากกว่าระดับ 4 และระดับค่าความคงทนของสีต่อการซักในด้านการตกสีอยู่ในระดับ 4 (สีตกติดผ้าฝ้ายเล็กน้อย)

ด้านการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบผลึกของแคลเซียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์เกาะติดอยู่บนเส้นใยผ้า และทดสอบด้วยเทคนิค FTIR พบพีคที่ตำแหน่งความยาวคลื่นเท่ากับ 871.75 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของสารประกอบ tyrosine หรือ aromatic amine acid และที่ตำแหน่ง $1,624\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเกิดจากหมู่ฟังก์ชัน C=O ซึ่งเป็นโครงสร้างโมเลกุลของสารอินดิโก

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองยังสามารถที่จะพัฒนาสู่การทำผงสีห้อม เพื่อให้ง่ายต่อการเตรียมน้ำย้อมต่อไป และพัฒนาคุณสมบัติของผ้าย้อมห้อมเพื่อประโยชน์ด้านสุขภาพผิวหนังของผู้สวมใส่ผ้าห้อม

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) สามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาการผลิตสีย้อมห้อม เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตผ้าห้อมห้อม ในจังหวัดแพร่และจังหวัดอื่นที่มีสภาพคล้ายคลึงกัน
- 2) ทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานเพื่อการวิจัยเกี่ยวกับการใช้สีย้อมห้อมกับผ้าฝ้ายและผ้าอื่นๆ ในอนาคต

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่ที่ร่วมปฏิบัติงานการทดลองนี้ อย่างอุตสาหะ ทำให้ได้ผลงานนี้ออกมา

12. เอกสารอ้างอิง

กิตติพงศ์ อำนวยสวัสดิ์. 2558. การอบรมนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) และการประยุกต์ใช้ : วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ออนไลน์) แหล่งข้อมูล www.nano.kmitl.ac.th/files/nano.../03-วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์.pdf (2 พฤษภาคม 2559)

จิรัฐติกาล มานะ. 2555. จรรยาพงศการดำรงรักษาเอกลักษณ์ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกการท่องเที่ยวท้องถิ่น : กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ผ้าห้อมบ้านทุ่งไ้ย้ง ตำบลทุ่งไ้ย้ง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ (ออนไลน์) แหล่งข้อมูล : www.bec.nu.ac.th/bec-web/.../จิรัฐติกาล%20มานะจรรยาพงศ.pdf (2 พฤษภาคม 2559)

ไพศาล คงคาฉุยฉาย อรุณศิริ ชิตางกูร และเฉลียว หมดอีว. 2543. การพัฒนาเทคนิคการย้อมไหม ด้วยสีธรรมชาติจากครามและครั่ง. กรุงเทพฯ : รายงานวิจัย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

หมู่บ้านผ้าครามนาโน. 2555. พระจอมเกล้าลาดกระบัง โรงเรียนธาดุนารายณ์วิทยา ตำบลธาตุเชิงชุม อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร (ออนไลน์) แหล่งข้อมูล : <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php> (2 พฤษภาคม 2559)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2548. เทคโนโลยีสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ OTOP เล่ม 4
เทคนิคการย้อมผ้าหม้อห้อมให้มีคุณภาพได้มาตรฐาน. 32 หน้า.

อนุรัตน์ สายทอง. 2544. การเตรียมสีครามจากครามผงธรรมชาติ. สกลนคร : สถาบันราชภัฏสกลนคร

Chen C., Lin C., and Wang H. 2008. The study on cotton fabric dyeing by indigo blue from
Baphicacanthus Cusia, *Indigofera Tinctoria* and *Polygonum Tinctorium*. *Sen'i gakkashi*.
vol. 64 no. 10

Meksi N., Kechida M., Mhenni F. 2007. Cotton dyeing by Indigo with the Borohydride process:
Effect of some experimental conditions on indigo reduction and dyeing quality. *Chemical
engineering journal* 131. 187-193.

Priti B Tayade and Ravindra V Adivarekar. 2014. Extraction of Indigo dye from *Couroupita
guianensis* and its application on cotton fabric. *Fashion and Textiles*. 1-16.

Rajeshwar K., Osugi M.E., Chanmanee W., Chenthamarakshan C.R., Zaroni M., Kajitvichyanukul P.,
and Krishnan-Ayer R. 2008. Heterogeneous photocatalytic treatment of organic dyes in
air and aqueous media. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry
Reviews* 9 (4). 171–192.

Vuorema A. 2008. Reduction and analysis methods of indigo. Department of Chemistry,
University of Turku, Finland.

Yoshiko I. W., Rice M. K., and Barton J. (1999). Shibori: The Inventive Art of Japanese
Shaped Resist Dyeing. Tokyo:Kodansha International 277-283.

13. ภาคผนวก