



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาสีย้อมสีธรรมชาติในเขต ภาคเหนือตอนบน (ระยะที่ 2)

"Development of Natural Dyes in Upper
North Region (phase 2)"

สัญญาเลขที่ RDG4420026

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่าย 2

โดยคณะผู้วิจัย

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1. รศ.ดร.สุรีย์ พุดระกุล | หัวหน้าโครงการ |
| 2. รศ.สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ | รองหัวหน้าโครงการ |
| 3. อ.สุปราณี เสี่ยงใส | นักวิจัย |
| 4. อ. อนงค์ จีระโสติดิกุล | นักวิจัย |
| 5. นางสาวสุภาวดี ศรีแย้ม | นักวิจัย (ลูกจ้างโครงการ) |
| 6. นายไพฑูรย์ อบเชย | เจ้าหน้าที่ธุรการ (ลูกจ้างโครงการ) |

มิถุนายน พ.ศ. 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

“การพัฒนาสีย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน (ระยะที่ 2)”

“Development of Natural Dyes in Upper North Region (Phase 2)”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. รศ.ดร.สุรีย์ พุดระกุล | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 2. รศ.ดร.สรศักดิ์ เหลียวไชยพันธุ์ | ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 3. อ. สุปราณี เสียงใส | ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 4. อ. อนงค์ จิระโสติดิกุล | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพ |
| 5. นางสาวสุภาวดี ศรีแย้ม | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 6. นายไพฑูรย์ อบเชย | สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ชุดโครงการสีย้อมธรรมชาติ

Executive Summary

ชื่อโครงการ “การพัฒนาสื่อย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน (ระยะที่ 2)”

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุตระกูล

ปัญหาและความสำคัญ

สีมีอิทธิพลต่อชีวิตมนุษย์มาช้านาน สีสันมีอิทธิพลต่ออารมณ์ความรู้สึกของมนุษย์อย่างสำคัญในเกือบทุกแง่มุม รวมไปถึงการใช้สีในการบำบัดโรค การเติมสีลงไปในข้าวของเครื่องใช้ เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่มและอาหาร แต่เดิมมนุษย์เราเลือกสรรสีจากธรรมชาติมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นสีจากต้นไม้ สัตว์ ดิน หิน แร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีที่นำมาใช้เติมในอาหารมักใช้สีจากต้นไม้เป็นหลัก ต่อมา วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเจริญก้าวหน้ามากขึ้น สีสังเคราะห์จากสารเคมีเข้ามามีบทบาทแทนที่สีจากธรรมชาติ จนกระทั่งปัจจุบันสีที่ใช้ผสมอาหาร เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม เครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ก็เป็นสีสังเคราะห์จากสารเคมีทั้งสิ้น ทำให้สีสังเคราะห์ทางเคมีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นและก่อให้เกิดมลภาวะอันเนื่องมาจากการใช้สีสังเคราะห์ดังกล่าวซึ่งเป็นผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมนอกเหนือจากมลภาวะเป็นพิษอันเนื่องมาจากสาเหตุอื่นๆ ที่เพิ่มพูนขึ้นทุกนาทีในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเรา ดังนั้นในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามนุษย์ได้ตระหนักถึงภัยอันเกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษกันมากขึ้น และได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาและลดมลภาวะจากสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตสีสังเคราะห์เพื่อเป็นสีย้อมสิ่งทอ สีทาสีต่างๆ และสีผสมพลาสติก เป็นต้น ได้พัฒนาไปจนถึงจุดสูงสุดและมีสีสังเคราะห์คุณภาพต่ำ ราคาถูกหลายชนิดที่ใช้เป็นสีย้อมที่ไม่ปลอดภัย สีเหล่านี้จำนวนมากเป็นสีที่มีโครงสร้างเป็นสารก่อมะเร็งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้และเป็นมลภาวะอันเกิดจากน้ำทิ้งสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีสีที่หายากซึ่งพบได้ในสีจากธรรมชาติที่ก่อให้เกิดมลภาวะน้อยมากในการใช้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีการตื่นตัวกลับมาใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น อุตสาหกรรมผลิตสีย้อมเองก็เริ่มแสวงหาสีย้อมจากธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ควบคู่กับหลักการใช้ได้ดีกับสีสังเคราะห์ กล่าวคือใช้ควบคู่กับสารช่วยติดสีและสารที่ทำให้สีติดทนต่อการซักล้างและขัดถูซึ่งเหมาะกับหมู่ไฮดรอกซีของสารประกอบฟีนอลซึ่งพบอยู่ในสารสีธรรมชาติส่วนใหญ่และเพื่อเพิ่มความคงทนของการติดสีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปรับปรุงทางเคมีของสีธรรมชาติเพื่อให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นก็เป็นอีกแนวโน้มหนึ่งซึ่งเป็นที่สนใจในระดับอุตสาหกรรม และภาคอุตสาหกรรมเองก็เริ่มแสวงหาสารให้สีธรรมชาติในแนวทางนี้เพื่อให้ได้สีที่หายากและไม่สามารถสังเคราะห์ได้มาพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้ได้เทียบเท่ากับการใช้สีสังเคราะห์เพื่อให้ประเทศไทยก้าวทันต่อสถานการณ์ปัจจุบันและอนาคต การส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติและ การทอผ้าด้วยมือควบคู่ไปกับการเพาะปลูกขยายพันธุ์พืชให้สีธรรมชาติจึงน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้เกิดการอนุรักษ์ธรรมชาติและฟื้นฟูศิลปวัฒนธรรมโบราณอันเป็นเอกลักษณ์ของไทย กองอุตสาหกรรมในครอบครัว กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมจึงได้เริ่ม

โครงการส่งเสริมการย้อมสีธรรมชาติตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 โดยได้ทำการทดลองค้นคว้าและจัดการฝึกอบรมให้แก่ราษฎรในหลักสูตรเบื้องต้นไปแล้ว ซึ่งได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการในระดับหนึ่งและยังพบปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้ในด้านความคงทนของสี ข้อจำกัดด้านเจดสี และความสดใสของสี วัตถุดิบสารให้สีหายากและมีเป็นฤดูกาล การเตรียมน้ำย้อมและการย้อมใช้เวลา นานและมีขั้นตอนซับซ้อนผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพยังไม่เป็นที่นิยม ขายไม่ได้ราคา ส่งผลให้เกิดปัญหา เรื่องการตลาดตามมา

สืบเนื่องมาจากปัญหาดังกล่าวประกอบกับการที่รัฐบาลไทยได้กำหนดนโยบายส่งเสริมและพัฒนาอาชีพชาวชนบทด้านอาชีพสิ่งทอทุกสาขาในแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 3-8 เป็นต้นมาและได้พบปัญหาอุปสรรคต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.ฝ่าย 2) จึงได้สนับสนุนเครือข่ายการวิจัยในระบบสหสาขาวิชาภายใต้กลุ่มโครงการฟอกย้อมสีธรรมชาติเมื่อต้นปี พ.ศ. 2538 โดยจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง " การประเมินความต้องการ การแก้ปัญหา และการวิจัย เพื่อพัฒนาส่งเสริมการใช้สีย้อมธรรมชาติ" เพื่อเป็นเวทีให้ผู้สนใจและเกี่ยวข้องในระดับต่างๆ เช่น ผู้ทอผ้า นักวิจัยและนักส่งเสริม/องค์กรเอกชน ได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนข้อมูลข้อคิดเห็นและการค้นหาภาพรวมของปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการย้อมสีธรรมชาติ รวมทั้งการเสริมสร้างความชัดเจนในหัวข้อวิจัยและประเด็นวิจัย ผลการสัมมนาพบว่านักวิจัยยังขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกลุ่มทอผ้า ย้อมสีธรรมชาติที่มีอยู่ในภาคต่างๆ ของประเทศ ดังนั้นเพื่อสร้างฐานข้อมูลให้แก่นักวิจัยทางสกว.ฝ่าย 2 จึงสนับสนุนการสำรวจภาคสนามกลุ่มทอผ้าใช้สีธรรมชาติใน 4 ภาคของประเทศในปี พ.ศ. 2539 และนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกันในปี พ.ศ. 2540 เพื่อแสวงหาเป้าหมายร่วมและหัวข้อวิจัยซึ่งสามารถพัฒนาแนวทางในการพัฒนาและแก้ปัญหาการฟอกย้อมสีธรรมชาติในระดับชุมชนได้ในที่สุด ประเด็นสำคัญที่พบหลายประเด็นเป็นประเด็นร่วมในหมู่ทอผ้าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้โดยเฉพาะวิธีการย้อมและการรู้จักใช้วัตถุให้สีเป็นสีหลักและเคยใช้มาในอดีต จากประเด็นที่พบเหล่านี้ นักวิจัยกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากภาคต่างๆ ได้ร่วมการวางแผนงานวิจัยโดยมีเป้าหมายร่วมกันคือ "พัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติให้มีคุณภาพเป็นที่ ยอมรับของตลาดและรักษาสีสิ่งแวดล้อม" มีหัวข้อวิจัยหลักครอบคลุมสิ่งต่อไปนี้คือ การค้นหาเพื่อให้ได้ วัตถุดิบสารให้สี (เน้นแมงสี) สารช่วยติดสี สารดูดสี กระบวนการย้อมสี คุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์โดยรวมและการแปรรูปสารให้สี สารช่วยติดสี การรักษาสิ่งแวดล้อม จากข้อสรุปดังกล่าวจึงมี โครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนให้มีการวางแผนการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้ครอบคลุมปัญหาลักษณะต่างๆและมีโครงการต่างๆ เกิดขึ้นหลายโครงการเกี่ยวกับการ พัฒนาวิธีการย้อมในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงโครงการพัฒนาสารสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือในช่วงปี พ.ศ. 2540-2543 ซึ่งสามารถพัฒนาได้วิธีการย้อมและการผลิตสารสี ธรรมชาติแปรรูปให้เหมาะแก่การใช้งานได้ระดับหนึ่งซึ่งยังต้องมีการพัฒนาต่อไป

จากข้อสรุปดังกล่าวโครงการวิจัย “การพัฒนาสาขาย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน” ได้รับการสนับสนุนจากสกว. ฝ่าย 2 ให้ดำเนินการวิจัยเป็นเวลา 2 ปี 6 เดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2541 ถึงเดือน กันยายน 2543 ให้ทำการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีให้ครอบคลุม ปัญหาหลักต่างๆ ในขอบข่ายที่สามารถจะทำได้และพัฒนาส่งเสริมแบบครบวงจร โดยได้ทำการสำรวจและรวบรวมองค์ความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของผู้ทอผ้าย้อมสีธรรมชาติเกี่ยวกับกรรมวิธีการย้อมและวัตถุดิบที่ใช้ในการย้อมสีธรรมชาติของชุมชนในแถบภาคเหนือตอนบน 9 จังหวัด คือ เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน สุโขทัย และอุตรดิตถ์ และได้ข้อมูลทางภาคอีสานเหนือ อีกหลายจังหวัดมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการวิจัยและพัฒนาให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสีแวดล้อมเพื่อการส่งเสริมต่อไป ดังนั้นงานวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นมุ่งประเด็นหลักที่ (1) การค้นหาเพื่อให้ได้วัตถุดิบ สารให้สี สารช่วยติดสีจากธรรมชาติเพิ่มขึ้นในฤดูกาลต่างๆ โดยเน้นสีหลักสามสีคือ สีแดง น้ำเงิน และเหลือง ส่วนสีอื่นๆ เช่น สีเปลือกไม้ สีดำเป็นผลพลอยได้ (2) ศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของสารให้สีและสารติดสีจากแหล่งวัตถุดิบที่ค้นพบโดยสืบค้นจากฐานข้อมูลและวิเคราะห์เพิ่มเติม ศึกษาหากรรมวิธีการใช้วัตถุดิบให้สีอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพตลอดจนการแปรรูปวัตถุให้สีได้อยู่ในรูปที่ใช้ได้ง่าย สะดวกและมีมาตรฐานโดยกำหนดวิธีการทดสอบความเข้มข้นของน้ำย้อมอย่างง่าย และพัฒนากรรมวิธีมาตรฐานสำหรับวิธีการย้อมสำหรับแต่ละสี ตลอดจนการศึกษาวิธีการจัดการน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมโดยพยายามใช้น้ำสีให้ได้คุ้มค่า ทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการวิจัยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ย้อมสีธรรมชาติโดยกรรมวิธีดั้งเดิม วิเคราะห์ผลการวิจัยและพัฒนาที่ได้เพื่อการเผยแพร่และส่งเสริมต่อไป

ผลงานวิจัยในระยะแรกซึ่งใช้เวลาสองปีครึ่งที่ผ่านมาคณะผู้วิจัยได้ผลเป็นที่น่าพอใจและเป็นไปตามแผนที่วางไว้ทุกประการ กล่าวคือ

(1) ได้ทำการสำรวจภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับกรรมวิธีการย้อมผ้าโดยเน้นเฉพาะสีหลักสามสี คือ สีแดงจากรากขมิ้น สีเหลืองจากขมิ้น สีน้ำเงินจากครามและย้อม ผลการสำรวจพบว่าวิธีการย้อมแต่ละท้องถิ่นสำหรับวัตถุดิบให้สีชนิดเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกันเป็นหลักใหญ่ๆ แต่จะมีรายละเอียดบางอย่างแตกต่างกันไป รวมทั้งการใช้สารช่วยติดสีและการเตรียมผ้ายกก่อนย้อม คณะผู้วิจัยได้เก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในการย้อมแต่ละวิธีมาเพื่อตรวจสอบคุณภาพสำหรับเป็นข้อมูลประกอบในการประเมินวิธีการย้อมที่เหมาะสมสำหรับการทดลองการย้อมในกลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่ม ตรวจสอบคุณภาพ และรวบรวมข้อมูลสำหรับการพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีแปรรูปและสีธรรมชาติที่สกัดสดต่อไป ข้อมูลที่ได้นี้ทำให้คณะผู้วิจัยประสบความสำเร็จอย่างดีเยี่ยมในการพัฒนาวิธีการย้อมเส้นใยผ้าให้ติดสีเข้มและคงทนและใช้เวลาในการย้อมไม่นาน กล่าวคือ การต้มผ้าที่ล้างไขมันออกแล้วกับน้ำถั่วเหลืองหรือโปรตีนอื่นๆ ก่อนนำมาใช้ย้อมสีจะติดผ้าเข้มกว่าปกติ การใส่

กรดซิดริกในการย้อมสีครามและครั้งทำให้สีเข้าฝ้ายดีและใช้ Wetting agent ในน้ำย้อมทำให้โมเลกุลของสีกระจายดีในน้ำย้อมทำให้สีซึมเข้าเนื้อฝ้ายได้ดีโดยเฉพาะสีจากรากยอป่าและสีพวก azo dye ทำให้ฝ้ายที่ย้อมได้มีสีสม่ำเสมอไม่ต่าง ผลการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ออกมาอยู่ในระดับดี

(2) ได้ทำการสำรวจแหล่งและปริมาณวัตถุดิบให้สีหลักทั้ง 3 สี สารช่วยให้ติดสีและเลือกพันธุ์พืชที่ปลูกง่าย พบมากทั่วไปในภาคเหนือ และภาคอื่นๆ ของประเทศ และส่วนที่ให้สีไม่ไช้แก่นไม้หรือเปลือกไม้ เพื่อป้องกันการตัดไม้ทำลายป่า เช่น สารสีแดงจากรากยอป่า ได้เลือกพันธุ์ยอป่าที่เป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็กและมีมากในภาคเหนือ คือ *Morinda angustifolia* Roxb. var. *scabridula* Craib. สีเหลืองเลือกขมิ้นเพราะปลูกง่าย พบทั่วไปและใช้ส่วนเหง้า สีน้ำเงินจากใบและต้นครามและย้อมเพราะมีปลูกทั่วไปใช้เวลาปลูกไม่นานก็เก็บเกี่ยวได้เหมาะที่จะพัฒนาเพื่อส่งเสริมการปลูก นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองแปรรูปสีจากน้ำล้างครั่งซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานครั่งเมิดที่มีหลายโรงในจังหวัดลำปางและแพร่

(3) ได้ทำการสกัดและแปรรูปสารให้สีจากวัตถุดิบที่เลือกไว้ได้แก่ รากยอป่า ครั่ง ซึ่งย้อมได้เฉดสีแดงส้มถึงม่วงแดง ครามและย้อมย้อมได้สีฟ้า ฟ้ายอมเขียวและน้ำเงิน และเหง้าขมิ้นซึ่งย้อมได้สีเหลืองทำการแยกบริสุทธิ์สารหลักที่ให้สีวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ไม่ก่ออันตรายได้ข้อมูลประกอบในการพัฒนาการย้อมให้ได้เฉดสีที่ต้องการ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารหลักจากวัตถุดิบดังกล่าว พบว่า สารให้สีหลักในรากยอป่าคือสารกลุ่ม anthraquinone ที่มีโครงสร้างเคมีเป็น moridone สารให้สีในครั่งคือ Laccaic acid A ซึ่งเป็นสารกลุ่ม anthraquinone เช่นเดียวกับรากยอป่า สารให้สีหลักในครามและย้อมมีสองสีคือ สารสีน้ำเงิน เป็น indigo และสารสีแดง ซึ่งมีปริมาณมากกว่า เป็น indirubin ซึ่งน่าจะพัฒนาวิธีการแยกออกมาแปรรูปเป็นสีย้อมได้อีกสีหนึ่ง

สำหรับการแปรรูปสารให้สีนั้นทำเป็น 3 รูปแบบคือ ผงพืชบด ผงสกัดด้วยน้ำฉีดพ่นแห้ง สารสกัดเข้มข้นด้วยอัลกอฮอล์ แล้วทั้งสามแบบนี้มาอัดเป็นเม็ดแกรนูลเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษาและการใช้ย้อมสำหรับสีจากครามและย้อมนั้นใช้วิธีการหมักด้วยน้ำและพบวิธีการหมักที่จะได้อินดิโกออกมามากโดยไม่เกิดกลิ่นเหม็นและใช้เวลาในการสกัดสั้นแต่ได้ปริมาณอินดิโกมากในรูป indigo paste อบให้แห้งและบดเป็นผงแล้วอัดเป็นแกรนูล จากการวิจัยพบว่าสีแปรรูปที่ผลิตได้โดยวิธีต่างๆ นั้นถ้าอยู่ในลักษณะผงโดยเฉพาะจากการทำ spray dry จะเก็บไว้ได้ไม่นานเมื่อมีความชื้นจะเกาะเป็นก้อนแข็ง การสกัดด้วยน้ำผสมน้ำต่างจากปูนขาวจะได้ผงสีผสม $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งเก็บได้นานขึ้นและใช้งานได้เลยในการย้อมฝ้าย อย่างไรก็ตามการอัดเป็นเม็ดแกรนูลขนาดเล็กจะเก็บไว้ได้นานที่สุดและเมื่อนำมาย้อมก็จะละลายน้ำได้ดี

สีแปรรูปที่ได้เมื่อนำไปทดลองย้อมตามกรรมวิธีที่ได้พัฒนาไว้แล้วดังข้อ (1) พบว่า ได้ผลเช่นเดียวกับการสกัดสด คุณภาพของสีย้อมในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงอยู่ในระดับดี ยกเว้นสารที่ให้สีเหลืองจากขมิ้นจะมีความคงทนต่อแสงต่ำเนื่องจากเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารสีเหลืองส่วนใหญ่ ซึ่งแก้ได้ยากนอกจากจะลองหาสารสีเหลืองจากแหล่งใหม่ที่มีโครงสร้างโมเลกุลต่างออกไป นอกจากนี้การใช้สีแปรรูปในการย้อมมีข้อดีเหนือการสกัดสดคือการทราบปริมาณเนื้อสีในสีแปรรูปที่เตรียมเมื่อนำไปใช้เตรียมน้ำย้อมสามารถควบคุมความเข้มข้นของน้ำสีตั้งต้นได้ทำให้ได้สีเหมือนเดิมทุกครั้งเมื่อเตรียมน้ำย้อมด้วยสีแปรรูปปริมาณที่เท่ากัน

(4) ได้ทำการทดลองเพิ่มผลผลิตสีจากรากยอป่าโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากรากปลอดเชื้อ ซึ่งนำเมล็ดรากยอป่ามาเพาะให้เกิดรากในภาวะปลอดเชื้อ แล้วนำเซลล์รากมาเลี้ยงในอาหารวันจนเกิดกลุ่มเซลล์ จากนั้นแยกเซลล์รากไปเพาะต่อในอาหารที่มีสารตั้งต้นสำหรับการสร้างสารให้สีของรากยอป่าในอาหารเหลว และอาหารวันพบว่า เซลล์รากเจริญได้ดีและสร้างสีในอาหารวันเมื่อเพาะเลี้ยงได้ 14 วัน และสีจะสร้างเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เพาะเลี้ยงจนอาหารหมดประมาณ 28-30 วัน จากนั้นได้ทดลองสกัดสารให้สีจากเซลล์รากที่เพาะได้มาวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีผิวบางเทียบกับสารสกัดจากรากยอป่าสายพันธุ์เดียวกันพบว่าเป็นสารให้สีชนิดเดียวกัน จากผลการทดลองดังกล่าวพบแนวโน้มในการที่จะพัฒนาการเพิ่มผลผลิตสีจากรากยอป่าโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากให้มีปริมาณมากขึ้นและอาจจะเพาะเลี้ยงเซลล์รากให้เจริญเป็นต้นเพื่อส่งเสริมการปลูกอีกทางหนึ่งด้วย

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทดลองศึกษาการเพิ่มผลผลิตของสารให้สีธรรมชาติจากจุลินทรีย์ โดยได้แยก จุลินทรีย์สร้างสีจากธรรมชาติได้แก่ ดิน ใบไม้ เปลือกไม้ ผลไม้ อาหารหมัก และเห็ด และได้จุลินทรีย์สร้างสีหลายสายพันธุ์ ทั้งยีสต์ แบคทีเรีย และรา ซึ่งให้สารสีชมพูอมส้ม สีแดงม่วง สีเหลือง สีดำ สีเขียว ตรวจหาชนิดของ pigments สีต่างๆ พบว่า ยีสต์ให้สีกลุ่ม Carotenoid และ Anthraquinone และยีสต์ให้สีดำของกลุ่ม Melanin สำหรับแบคทีเรียที่ให้สีแดงอมม่วงเป็นสารกลุ่ม Prodigiosin ซึ่งเป็นสาร antibiotic ด้วย ราที่ให้สีเขียวเป็นพวก Naphthoquinone และสีแดงเป็น

Anthraquinone คณะผู้วิจัยได้เลือกทดลองเลี้ยงแบคทีเรียที่ผลิตสีแดงอมม่วงพบว่าแบคทีเรียชนิดนี้จัดอยู่ใน Genus *Serratia* ซึ่งไม่เป็นอันตราย ทำการเลี้ยงปรับสูตรอาหารเพื่อให้สร้าง pigment สีแดงอมม่วงได้ปริมาณมากต่อไป

(5) ในแง่สารช่วยติดสีซึ่งใช้มากจากสารธรรมชาตินั้นได้สำรวจพบว่ามีการใช้ใบไม้ชนิดต่างๆ คณะผู้วิจัยจึงทำการสกัดสารช่วยติดสีจากใบไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแทนนิน เปรียบเทียบปริมาณและตกตะกอนแทนนิน ออกมาเพื่อใช้ผสมสำหรับการปรุงแต่งสีแปรรูปที่ผลิตขึ้นให้ย้อมได้สีคงทนมากขึ้นต่อไป

(6) ในแง่การใช้สอยอย่างมีประสิทธิภาพนั้นอาจทำได้โดยน้ำที่ข้มครั้งหนึ่งแล้วอาจจะข้มอีกครั้งได้ผลิตภัณฑ์สีอ่อนลงหรือให้ข้มเยือกกระดาศา ใบไม้ที่ลอกเนื้อใบออกแล้วเหลือแต่ก้านและแขนงของก้านใบสิ่งเหล่านี้จะซึมซับน้ำสีไว้ได้ดีก่อนทิ้งลงสู่บ่อน้ำทั้งเป็นการลดมลภาวะทางหนึ่งด้วย สิ่งเหล่านี้น่าจะเผยแพร่พร้อมกับการออกไปแนะนำส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสีข้มทดลองใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้น

ผลงานวิจัยทั้งหมดที่ได้ในระยะเวลาวิจัยสองปีครึ่งที่ผ่านมาเป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการแต่มีแนวโน้มสูงในการพัฒนาขยายขนาดการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้นและพัฒนาไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งจะทำให้ได้ผลเช่นนี้ได้และทำให้ผลงานวิจัยที่ได้มานำไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมได้นั้นจะต้องมีการแนะนำให้ผู้ประกอบการรู้จักและหันมาใช้สีธรรมชาติแปรรูปในการข้มผลิตภัณฑ์กันมากขึ้นอย่างกว้างขวางซึ่งจะเป็นการเปิดตลาดให้กับอุตสาหกรรมที่สนใจจะลงทุนผลิตสารให้สีธรรมชาติแปรรูป ดังนั้นควรต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สีแปรรูปที่สกัดจากวัตถุดิบอื่นๆ ให้ได้เจดสีเพิ่มเติมและขยายการผลิตสีแปรรูปให้อยู่ในระดับที่เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการได้ทดลองใช้และพอที่จะทดลองใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมในการปรับสูตรสีแปรรูปพร้อมข้มให้ได้เจดสีต่างๆ โดยการผสมสีที่สกัดได้ เขียนคู่มือการข้มสีธรรมชาติแปรรูปที่พัฒนาวิธีการข้มแล้วเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของตลาด แนะนำส่งเสริมการปลูกวัตถุดิบสารให้สีที่จะนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม จากเหตุผลและความจำเป็นข้างต้นตลอดจนความประสงค์ที่จะให้ผลงานวิจัยที่ได้มีผู้นำไปใช้อย่างเป็นรูปธรรม คณะผู้วิจัยจึงขอเสนอโครงการวิจัยต่อเนื่องระยะที่สองเป็นเวลา 2 ปี ตั้งแต่ 1 สิงหาคม 2544 ถึง 3 กรกฎาคม 2546 เพื่อดำเนินการวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาสารข้มสีธรรมชาติและการข้ม เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สีข้มที่ข้มด้วยสีธรรมชาติให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสีแวดล้อมและเพื่อส่งเสริมและจูงใจทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ใช้สีธรรมชาติมากขึ้น

งานวิจัยในระยะที่สองนั้นมุ่งประเด็นไปที่ (1) การขยายขนาดการผลิตสีแปรรูปจากรากยอป่าครั้ง ครามและข้อม เพื่อให้เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในแหล่งต่างๆ ในภาคเหนือและอีสาน (2) การแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ที่ให้สีธรรมชาติในเจดสีอื่นโดยเฉพาะสีเหลืองที่มีความคงทนต่อแสง โดยเน้นการใช้พืชที่ส่งเสริมการปลูกง่ายและส่วนของพืชให้สีที่ไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่าเช่น ใบ เปลือก เหง้า หัว และราก (3) การเพิ่มเจดสีของสีธรรมชาติแปรรูปโดยการผสมสารให้สีที่สกัดได้และแปรรูปตลอดจนการปรุงแต่งสีแปรรูปด้วยสารสกัดจากธรรมชาติให้อยู่ในลักษณะผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมข้มที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาด (4) การหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บสีแปรรูปที่ผลิตได้ให้คงทนและสะดวกแก่การนำไปใช้ (5) การออกไปแนะนำส่งเสริมให้ผู้ประกอบการนำสีแปรรูปไปทดลองข้มผลิตภัณฑ์และติดตามผล และ (6)

การทำคู่มือการย้อมเส้นใยต่างๆ ด้วยสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้ตลอดจนการใช้สีอย่างคุ้มค่าจากน้ำทิ้งหลังการย้อม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อขยายการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากรากยอป่า ครั่ง ครามและฮ่อมให้เพียงพอต่อการนำไปให้ผู้ประกอบการทดลองใช้เพื่อเปิดตลาดให้กับอุตสาหกรรมที่จะลงทุนผลิตสีธรรมชาติแปรรูป
2. เพื่อแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ที่ให้สีธรรมชาติเพิ่มเติมทั้งที่ให้สีหลักสามสีและเจดสีอื่นโดยเน้นการไม่ตัดไม้ทำลายป่าและศึกษาการเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์
3. เพื่อเพิ่มเจดสีของสีธรรมชาติแปรรูปให้มากขึ้นโดยการผสมสารสีที่สกัดได้และปรับสูตรให้เก็บและใช้งานได้สะดวกและผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้เป็นที่ยอมรับของตลาด
4. เพื่อหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมพร้อมวิธีการย้อมสำหรับสูตรผสมแต่ละสูตร
5. เพื่อออกไปแนะนำส่งเสริมย้อมธรรมชาติแปรรูปให้แก่ผู้ประกอบการในแหล่งต่างๆ ได้ทดลองใช้พร้อมทั้งการติดตามผล
6. เพื่อทำคู่มือการย้อมเส้นใยต่างๆ ด้วยสีย้อมธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้ตลอดจนการใช้สีอย่างคุ้มค่าจากน้ำทิ้งหลังการย้อม

การดำเนินงานและผลวิจัย

การดำเนินการวิจัยเป็นไปตามกิจกรรมหลัก 4 กิจกรรมตามวัตถุประสงค์ข้างต้นคือ การขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปให้เพียงพอแก่การทดลองใช้ในภาคอุตสาหกรรมขนาดย่อม การเพิ่มเจดสีโดยการผสมผสานสารให้สีที่สกัดได้และแปรรูปตลอดจนการปรับปรุงสูตรของสีสำเร็จรูปพร้อมย้อมและภาชนะบรรจุที่เหมาะสม การแสวงหาแหล่งวัตถุดิบเพิ่มเติมทั้งวัตถุดิบที่ให้สีหลักสามสี แดง เหลือง น้ำเงินและสีอื่นๆ และหาข้อมูลเพื่อส่งเสริมการปลูกและการศึกษาเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์เพิ่มเติม การนำสีแปรรูปที่ผลิตได้แนะนำส่งเสริมให้ชุมชนผู้ย้อมสีได้ทดลองใช้และติดตามผลและการเขียนคู่มือการย้อมเส้นใยด้วยสีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตได้ครอบคลุมถึงการใช้สีย้อมอย่างคุ้มค่าและลดมลภาวะโดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ได้ทำการขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากรากยอป่า ครั่ง ขมิ้น ครามและฮ่อมให้เพียงพอต่อการนำไปส่งเสริมให้ชุมชนผู้ย้อมสีธรรมชาติทดลองใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม รวมทั้งสีอื่นๆ ที่ได้จากการวิจัยระยะที่สองนี้โดยเน้นหนักการสกัดด้วยน้ำและฉีดพ่นแห้งซึ่งจะต้องสกัดเป็นปริมาณมากเครื่องฉีดพ่นแห้งต้องใช้ขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งคณะผู้วิจัยได้ติดต่อขอเช่าเครื่องจากคณะอุตสาหกรรม

กรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในอัตราชั่วโมงละ 250 บาท ซึ่งจะทำการฉีดพ่นแห้งได้ชั่วโมงละ 4-5 ลิตร หากผงพืชบดที่เหลือจะทำการสกัดด้วยอัลกอฮอล์แบบแช่ ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-2 สัปดาห์ แล้วนำมาระเหยแห้งเป็นสารสกัดเข้มข้น จากนั้นนำมาอัดเป็นแกรนูลขนาดเล็กเก็บและละลายง่ายเมื่อใช้ สำหรับสีจากครามและฮ่อมได้ทำการหมักได้ indigo paste แล้วอบแห้งบดเป็นผง แล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูลขนาดเม็ดเล็ก ทั้งนี้ยังได้ทำการศึกษาสัดส่วนปริมาณสารผสมที่ใช้อัดเม็ดแกรนูลและปริมาณต่างเคลือบไฮดรอกไซด์หรือน้ำปูนใสที่ใช้สกัด ปริมาณสารสีที่สกัดได้เพื่อให้ทราบปริมาณเนื้อสีที่อยู่ในเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปสำหรับเป็นข้อมูลในการเตรียมน้ำย้อมพัฒนาและปรับปรุงสูตรผสมของสีแปรรูปให้ย้อมได้ง่ายและผลิตภัณฑ์ย้อมได้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดรวมทั้งได้ประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนด้วย

ผลการวิจัยในช่วงแรกนั้นได้ทำการขยายการผลิตสีธรรมชาติจากรากยอป่า ครั่ง ขมิ้น คราม และฮ่อมได้ปริมาณหนึ่งซึ่งยังไม่เพียงพอแก่การนำไปเผยแพร่ให้ทดลองใช้เนื่องจากเกิดปัญหาเรื่องเครื่องทำแห้งแบบ spray dry เสีย และทางคณะอุตสาหกรรมเกษตรไม่มีงบประมาณซ่อม อย่างไรก็ตามได้ทดลองใช้ผงสีแห้งที่สกัดได้มาทดลองหาสูตรผสมที่เหมาะสมเพื่อเป็นสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปและอัดเป็นเม็ดแกรนูลโดยใช้สิ่งจำเป็นในการเตรียมน้ำย้อมแต่ละชนิดและสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เกิดการจับตัวของส่วนผสมเป็นเม็ดแกรนูลได้ จากนั้นนำมาเตรียมน้ำย้อมทดลองย้อมผ้าพบว่า การใช้น้ำตาลแลคโตสเป็นส่วนผสมนั้นเม็ดแกรนูลละลายได้ดีแต่ปริมาณสีต่อกรัมเม็ดแกรนูลจะต่ำย้อมได้สีอ่อนสม่ำเสมอ เมื่อใช้แป้งมันแทนแลคโตสพบว่าปริมาณสีต่อกรัมแกรนูลเพิ่มขึ้นแต่ย้อมผ้าแล้วสีต่างเพราะแป้งเกาะตัวเหนียวเมื่อต้มในขั้นตอนการย้อม การเติม wetting agent ทำให้การเกาะตัวของส่วนผสมดีขึ้นและมีประโยชน์ในการทำให้เกิดการกระจายของสีในน้ำย้อมได้ดี จากข้อมูลเบื้องต้นได้แนวทางที่จะปรับปรุงสูตรผสมสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป

ผลการทดลองในช่วงที่ 2 ถึงช่วงที่ 4 นั้นคณะผู้วิจัยแก้ปัญหาเรื่องเครื่องทำแห้งแบบ spray dryer ซึ่งเสียหันมาทำการทำแห้งโดยใช้เครื่องมือทำแห้งแบบลูกกลิ้งแทน (drum dryer) การทำแห้งแบบนี้มีข้อดีคือสามารถผสมสูตรสำเร็จรูปได้เลยจากน้ำสีสกัดแล้วทำแห้งทีเดียวไม่ต้องทำแห้งผงสีก่อนแล้วผสม วิธีนี้จะทำให้ส่วนผสมทุกอย่างคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าและต้นทุนการทำแห้งถูกลง การผลิตสีย้อมธรรมชาติที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเริ่มจากการนำผงสีครั้ง รากยอป่า ที่ทำแห้งไว้ด้วย spray dry และการสกัดด้วยอัลกอฮอล์ ทดลองปรุงสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปทดลองย้อมตรวจสอบคุณภาพ ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งแล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูล ทดสอบการละลายและพิเศษของสารละลายและคัดเลือกสูตรที่ใช้ได้สำหรับการขยายการผลิตในการวิจัยช่วงต่อไป ซึ่งได้ทำการศึกษารายละเอียดของสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ เพื่อประเมินข้อดีข้อด้อยของแต่ละสูตรเพื่อคัดเลือกและพัฒนาให้ดีขึ้นต่อไป เริ่มจากสูตรน้ำย้อมจากน้ำล้างครั้งที่ผลิตได้สูตรต่างๆ ตั้งแต่

L1, L2 ซึ่งเป็นสีครั้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยเครื่อง Spray dryer ซึ่งปัจจุบันไม่ใช่เครื่องดังกล่าวจึงไม่พัฒนาต่อ เริ่มทำแห้งใหม่จากน้ำล้างครั้งสดจากโรงงานครั้งเม็ดแล้วปรุงสูตรสำเร็จ 2 สูตร คือ สูตร L3 และ สูตร L4 พบว่าสูตร L3 กากมากไม่ละลายสีออกมาเวลาใช้ เนื่องจากขาดการเติมโซดาแอช จึงปรับใหม่เป็น สูตร L4 สีม่วงแดง ที่เติมโซดาแอช 0.5% น้ำหนักต่อปริมาตรและปรับพีเอชน้ำย้อมให้อยู่ในช่วงพีเอช 10.4-10.5 ก่อนทำแห้ง พบว่าผงละลายดีมากกรองกากทิ้งน้อยย้อมฝ้าย ใหม่ และเส้นใยอื่นๆ ได้ดีจึงเลือกมาเป็นสูตรสำเร็จรูปที่สามารถขยายขนาดการผลิตได้ต่อไป ส่วนสีรากยอบาก็เช่นเดียวกันปรับปรุงเป็นสูตรที่สกัดสดจากผงรากยอบาปรุงสูตรและปรับพีเอชน้ำย้อมให้อยู่ในช่วงพีเอช 10-11 ก่อนทำแห้ง คัดเลือกเป็นสูตร M1 สีแดงอ่อนอมส้ม นอกจากนี้ยังผสมน้ำย้อมสูตร L4 และ M1 เป็นสูตร ML14 แล้วทำแห้ง เพื่อให้ได้สีแดงสด ทำการทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำย้อมในการย้อมด้วยฝ้าย พบว่าปริมาณผงสี 50 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นปริมาณที่ทำให้ติดสีเข้มและประหยัดผงสีมากที่สุด ถ้าใช้มากกว่านี้สีก็ติดด้วยฝ้ายเข้มเท่าเดิม

สำหรับสูตรน้ำย้อมสีครามธรรมชาตินั้นสูตรน้ำย้อม I1, I2 และ I3 เป็นสูตรที่ใช้ได้ ทั้งสามสูตรมีเจดสีต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการหมัก แต่พีเอชที่ได้สูงเกินไปคือ 12.1 ซึ่งจะทำให้ไหมเปื่อย และมีผู้ทดลองพบว่าพีเอชน้ำย้อมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีครามธรรมชาติอยู่ในช่วง 10.5 จึงปรับสูตรใหม่ โดยทำการปรับพีเอชของแต่ละสูตรให้ได้ประมาณ 10.5 ก่อนทำแห้ง คราม paste ที่ได้จากภาคอีสานมีปูนขาวปนมากพีเอชน้ำย้อมสูง พยายามกรองส่วนที่ไม่ละลายออกก่อนแล้วจึงปรับพีเอชด้วยการเติมกรดซิตริก(กรดมะนาว) หรือกรดทาร์ทาริก(กรดมะขาม) ลงไปเพื่อช่วยให้สีอินดิโกอยู่ในรูปรีดิวซ์ตามธรรมชาติได้ดีขึ้น

ส่วนสูตรน้ำย้อมสีเหลืองจากขมิ้นนั้นต้องใช้สารสกัดจากขมิ้นที่กลั่นไล่น้ำมันออกแล้วและปรับสูตรให้มีพีเอช 8 ขึ้นไปก่อนทำแห้ง ได้สูตรสีเหลืองจากผักเชียงดา ผีวมะกรูด (กลั่นน้ำมันออก) และผิวส้ม(กลั่นน้ำมันออกก่อน) ได้ผลดีโดยปรับพีเอชของส่วนผสมก่อนย้อมเป็นพีเอช 10-11 อย่างไรก็ตามสีเหลืองจากวัตถุดิบดังกล่าวยังทนแสงได้น้อยยังต้องหาทางพัฒนาแก้ไขปรับปรุงในโครงการระยะต่อไป

2. ทำการแสวงหาวัตถุดิบทั้งชนิดและแหล่งที่ให้สีธรรมชาติทั้งที่เป็นสีหลักสามสีคือ สีแดง เหลือง น้ำเงิน เพิ่มเติมโดยเฉพาะที่ให้สีเหลืองที่มีความคงทนต่อแสงดีขึ้นและสีอื่นๆ เช่น น้ำตาล เขียว ดำ โดยเน้น การใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่การตัดไม้ทำลายป่า เลือกใช้ส่วนใบ ดอก ผล ราก เมล็ดหรือเปลือกต้น และพืช ที่ส่งเสริมการปลูกได้ง่ายและโตเร็ว รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับชื่อทางพฤกษศาสตร์และชื่อท้องถิ่นและชื่อสามัญ ตลอดจนหาวิธีสกัดและวิเคราะห์สารให้สีจากแหล่งใหม่พร้อมทั้งการทดลองย้อมและประเมินเพื่อทำการผลิตเป็นสีธรรมชาติแปรรูปต่อไป

ได้ทำการหาวัตถุดิบให้สีอื่นๆ เพิ่มเติมพบว่าสารสีเหลืองจากผักเชียงดาก็สามารถนำมาทำแห้งย้อมฝ้ายได้สีเหลืองส่วนน้ำสกัดครั้งแรกที่ยังไม่เติมด่างปูนขาวจะได้สีเขียวออกเหลืองเมื่อเติมด่าง

ปูนขาวก็จะเป็นสีเหลืองสวยแต่สีไม่คงทนและในเชิงพาณิชย์ไม่เหมาะจะนำมาย้อมผ้าเพราะผักเชียงดา มีสารแอนติออกซิเจนที่สูงน่าจะใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารมากกว่า สำหรับสารสีเหลืองนั้นคณะผู้วิจัยยังได้จากเปลือกส้มเขียวหวานและผิวมะกรูดที่กลั่นน้ำมันออกแล้วนำน้ำสีมาเติมต่างปูนขาวได้น้ำย้อมสีเหลืองเข้มขึ้นเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างพบว่า เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และมีโครงสร้างเป็นฟลาโวนินที่มีชื่อว่า Hesperidin และได้เลือกไว้สำหรับการสกัดปรุงสูตรสีเหลืองและทำแห้งต่อไป ส่วนสารสีแดงส้มอมน้ำตาลนั้นได้จากเปลือกไม้สนนอยหรือไก่แดง ทดลองสกัดด้วยอัลกอฮอล์แล้วแยกด้วยโครมาโทกราฟีผิวบางพบสารประกอบหลัก 2 ชนิด ซึ่งเมื่อแยกบริสุทธิ์และศึกษาโครงสร้างพบว่า สารหลักตัวแรกเป็นผลึกรูปเข็มสีขาวจำพวก triterpenoid ชนิด Lupane-type triterpene ส่วนสารหลักอีกชนิดหนึ่งเป็นผลึกสีแดงเป็นสารประกอบแทนนินชนิด condensed tannin ซึ่งเป็นสารช่วยติดสีด้วยย้อมผ้าได้สีน้ำตาลแดงหรือน้ำตาล ช็อคโกแลต หรือ ใช้เป็นมอร์แดนต์ผสมน้ำย้อมสูตรต่างๆ สารสกัดจากใบยูคาลิปตัส(กลั่นน้ำมันออกก่อน) ก็ใช้ย้อมได้สีครีมออกน้ำตาลและเป็นมอร์แดนต์ด้วยให้ผสมกับสูตรน้ำย้อมอื่นได้เพราะมีแทนนิน นอกจากนี้ก็มีใบขี้เหล็กและใบเหมือดโสดที่มีปริมาณแทนนินสูงที่สามารถนำมาสกัดและทำแห้งได้ ได้ทดลองสกัดสารสีจากดอกทองกวาวพบว่าเป็นสารสีกลุ่มคาโรทีนอยด์และฟลาโวนอยด์ให้น้ำสีส้มเมื่อเติมต่างให้สีส้มแดงย้อมผ้าได้สีส้มหรือส้มแดงแล้วแต่ที่เอชแต่สีที่ได้มีความคงทนต่อแสงต่ำต้องการหาทางปรับปรุงต่อไป

3. ทำการเพิ่มเจดสีโดยการผสมสารให้สีที่สกัดได้และทดลองย้อม ตรวจสอบคุณภาพในแง่ความคงทนต่อการซักและแสงและผลิตเป็นสีแปรรูปให้เก็บและใช้ได้ง่ายในสเกลที่มากพอที่จะไปเผยแพร่และส่งเสริมให้ทดลองใช้รวมทั้งหาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บและสะดวกต่อการใช้ พัฒนาวิธีการย้อมที่เหมาะสมสัดส่วนโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำ premordanting

ผลการทดลองสูตรผสมอื่นๆ และเจดต่างๆ เช่น สีเขียวจากน้ำสกัดผิวมะกรูดผสมคราม สีแดงจากครั่งผสมครามเป็นสีม่วงเป็นสูตรที่ใช้ได้ผลละลายดีแต่ที่เอชสูงเกินไปคือ 12.8 จึงปรับใหม่โดยปรับที่เอชอยู่ในช่วง 10-11 ก่อนทำแห้ง

ได้ทำการสกัดสารสีดำจากมะเกลือปรุงสูตรทำแห้งได้ผงสีเทาและถ้ามีเนื้อปูนมากจะเป็นผงสีดำเกาะเป็นก้อนแข็งผู้วิจัยกำลังหาวิธีบดเป็นผงเพื่อทำเม็ดแกรนูลต่อไป

ได้ทดลองสกัดสารสีจากดอกทองกวาว พบว่าเป็นสีกลุ่มคาโรทีนอยด์ และฟลาโวนอยด์ ปรุงน้ำย้อมได้สีส้มแดง ปรับที่เอชในช่วง 10-11 ทำแห้งทดลองย้อมได้สีเหลืองส้ม ไม่ทนแสง จึงผสมกับสารสีเหลืองที่สกัดจากเปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อและรากยอป่า พบว่าได้สีส้มแดง ย้อมผ้าไหม ได้สีส้มเข้ม ทนแสงได้ดีกว่าไม่ผสม

ได้ทำการหาวิธีวัดปริมาณสีในผงสีสำเร็จรูปสูตรต่างๆ โดยนำผงสีเหล่านั้นมาสกัดด้วยเมธานอล กรองกากทิ้งแล้วระเหยแห้ง นำผงที่แห้งมาละลายในน้ำปริมาณต่างๆ กันแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง

ที่ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารสีดังกล่าว นำข้อมูลมาเขียนกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณจากนั้นนำผงสีสูตรสำเร็จรูปมา 1 กรัม ละลายน้ำแล้วกรองกากที่ไม่ละลายทิ้ง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกันเทียบหาปริมาณเป็นเนื้อสีในผงสีย้อมสำเร็จรูป 1 กรัม

ได้ศึกษาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมในการต้มกับฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วก่อนย้อมโดยแปรปริมาณโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันและทดลองย้อมสีจากรากยอป่าและครั้งพบว่าปริมาณโปรตีนจากทั้งสองแหล่งที่ความเข้มข้น 1 มก./มล. -20 มก./มล. ช่วยให้ฝ้ายติดสีเข้มข้นตามลำดับเหมือนกันเมื่อย้อมด้วยสีจากทั้งสองแหล่ง และการทำความสะอาดด้วยฝ้ายด้วยน้ำเปล่าและโซดาแอซ+สบู่ก่อนต้มกับน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันให้ผลเหมือนกัน ผลการทดลองสรุปได้กว้างๆ ว่าปริมาณโปรตีนที่ใช้เคลือบฝ้ายก่อนย้อมที่ทำให้ติดสีเข้มอยู่ในช่วงที่กว้างตั้งแต่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นต้นไปขึ้นอยู่กับแหล่งของโปรตีนที่ใช้และการวิเคราะห์ปริมาณ แหล่งของโปรตีนที่ใช้เคลือบฝ้ายอาจใช้การเตรียมน้ำเต้าหู้จากถั่วเหลืองเอง ผงถั่วเหลืองที่มีขายในท้องตลาดเช่น ผงถั่วเหลืองจากดอยคำ น้ำมันสดจากฟาร์มโคนม (อาจใช้น้ำมันที่ไม่ผ่านการตรวจสำหรับใช้ดื่มแต่ยังไม่เสีย) นมผงพร้อมมันเนยเป็นต้น นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทดลองเตรียมน้ำเต้าหู้จากถั่วเหลืองแล้วทำแห้งแบบลูกกลิ้งอัดเม็ดแกรนูลเพื่อความสะดวกของผู้ใช้ ต้นทุนจะสูงกว่าซื้อถั่วเหลืองมาเตรียมน้ำเต้าหู้ใช้เองประมาณ 2.5 เท่า และปริมาณโปรตีนของน้ำถั่วเหลืองจะต่ำกว่าที่เตรียมน้ำเต้าหู้สด การทำน้ำถั่วเหลืองแห้งแบบใช้ลูกกลิ้งอัดเป็นเม็ดแกรนูลเมื่อใช้ควบคู่กับสีย้อมสำเร็จรูปอยู่ในวิสัยที่จะกระทำได้ถึงแม้ต้นทุนการผลิตจะสูงกว่าที่เตรียมเองประมาณ 2 เท่า แต่ถ้าเทียบกับความสะดวกและความคล่องตัวในการใช้แล้ว ต้นทุนที่ว่านี้น่าจะอยู่ในวิสัยที่ยอมรับได้ เพียงแต่ต้องการปริมาณโปรตีนและสัดส่วนที่แน่นอนในการละลายน้ำที่อุณหภูมิที่ใช้ต้มกับฝ้ายซึ่งสามารถศึกษาปรับปรุงได้ในโอกาสต่อไป

4. ทำการออกไปแนะนำและส่งเสริมชุมชนผู้ย้อมสีธรรมชาติในแหล่งต่างๆ ให้ทดลองใช้สีธรรมชาติแปรรูปที่ผลิตขึ้นในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมและติดตามประเมินผลและการศึกษาเพิ่มปริมาณการผลิตสีธรรมชาติจาก จุลินทรีย์ได้เลือกแบคทีเรีย *Serratia* มาทำการปรับสูตรอาหารและทำการกลายพันธุ์เพื่อให้ผลิตสีได้มากขึ้นและขยายการศึกษาไปศึกษาสีจากราและยีสต์ต่อไป

ได้ทำการประชาสัมพันธ์การใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปและการย้อมแก่กลุ่มผู้ใช้สีย้อมและสิ่งทอในงานแสดงต่างๆ ในจังหวัดเชียงใหม่และนิทรรศการวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติรวมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำวิธีการผลิตและใช้สีย้อมธรรมชาติแก่โครงการ "บ้านทอฝัน" ที่ อ.สังขละบุรี จ.กาญจนบุรีได้เผยแพร่การเพิ่มความเข้มของการติดสีบนฝ้ายโดยต้มฝ้ายด้วยน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันแก่ผู้ประกอบการในงานแสดงสินค้าหัตถกรรมต่างๆ ในภาคเหนือได้ร่วมประชุมกลุ่มผู้ย้อมสีครามธรรมชาติที่สวทช. และสัมมนาการกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติที่รัฐสภาในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2545

ในด้านการประชาสัมพันธ์สีย้อมผงสูตรสำเร็จรูปนั้นเดินทางไป 7 จังหวัดภาคอีสานและภาคเหนือได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ ร่วมแสดงนิทรรศการงานครบรอบ 10 ปี สกว. ที่ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ได้รับการขานรับจากกลุ่มผู้ผลิตและผู้บริโภคสีย้อมธรรมชาติอย่างดีเยี่ยม และจุดประกายให้มีแนวทางในการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปเพื่อใช้ในด้านอื่นๆ ต่อไป นอกจากนี้ฝ่ายชาวสถานีโทรทัศน์ช่อง 7 สี ได้มาสัมภาษณ์และถ่ายทำขั้นตอนการผลิตออกอากาศรายการคนไทยวันนี้เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นการประชาสัมพันธ์ให้ผู้สนใจมาติดต่อขอทราบรายละเอียดในการลงทุนผลิตขายหลายราย หลังจากนั้นได้แสดงนิทรรศการในงานวันวิทยาศาสตร์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2546 และร่วมทำงานนิทรรศการ 10 ปี สกว. สัณฐารภาคเหนือเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2546 ที่เชียงใหม่ คณะผู้วิจัยได้แบ่งสีย้อมสำเร็จรูปออกจำหน่ายในราคาต่ำกว่าต้นทุนและแจกให้ผู้ประกอบการได้นำไปทดลองใช้โดยเขียนวิธีใช้กำกับไว้ด้วย ปรากฏว่าได้รับความสนใจมากมีผู้ประกอบการใช้สีย้อมธรรมชาติมานำไปลองใช้หลายรายทั้งจากกรุงเทพฯ เชียงใหม่ และจังหวัดข้างเคียง และมีผู้ประกอบการร้านผ้าไหมที่เป็นชาวลาวจากเวียงจันทน์นำไปทดลองด้วย แต่ยังไม่ได้รับข้อมูลตอบกลับถึงผลการนำไปใช้ ล่าสุดมีกลุ่มพัฒนาชุมชนจังหวัดขอนแก่น ผู้ประกอบการสิ่งทอฝ่ายและไหมมาขอนำไปทดลองใช้แต่ยังไม่มีข้อมูลส่งกลับมาเพียงแต่บอกว่าหากได้มีการปรับปรุงและผลิตสีได้เพิ่มขอให้แจ้งให้ทราบด้วยจะนำไปทดลอง นอกจากนี้กลุ่มทำผ้าบาติคจังหวัดภูเก็ตได้ขอแบ่งสีไปทดลองทำบาติคด้วย

จะเห็นได้ว่าผลการวิจัยได้รับความสนใจมาก สำหรับคู่มือการเตรียมสีและการย้อมที่จะเขียนนั้นยังต้องรอไว้ก่อนเนื่องจากต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมให้มีการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะการละลายเม็ดสีย้อมให้เหลือกากน้อยที่สุด การกระจายตัวของน้ำย้อมหลังละลายความสม่ำเสมอของสีหลังการย้อมและความคงทนต่อแสงของสารสีบางสีโดยเฉพาะสีเหลือง การผสมสูตรน้ำย้อมจากวัตถุดิบให้สีต่างๆ เพื่อให้ได้สีตามความนิยมและความต้องการของตลาดในแต่ละปีซึ่งหากมีโอกาสคณะผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยต่อไป

ได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตสีย้อมธรรมชาติโดยส่งเสริมการปลูกครามในภาคเหนือโดยแจกเมล็ดครามที่ได้จากภาคอีสาน ที่จังหวัดแพร่เองก็ขยายเขตการปลูกครามมากขึ้นในปี 2546 นี้ การเพาะกลุ่มเซลล์พืชให้สีก็ดำเนินการอย่างต่อเนื่องหาวิธีการตรวจหาปริมาณสารสีที่ได้จากการปรับสภาวะการเลี้ยงให้เหมาะสม และเลือกเซลล์พืชให้สีที่เหมาะสมจะนำมาศึกษาการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์เพื่อผลิตสีต่อไป ส่วนการศึกษาสารสีจากจุลินทรีย์ ได้ทดสอบสารสีจากแบคทีเรียสายพันธุ์ *Serratia* ซึ่งแยกได้และปรับปรุงการเลี้ยงให้ผลิตได้มากแล้วนำมาสกัดสีและทดลองย้อมด้วยผ้าฝ้ายที่เชมอร์แดนที่คือแทนนิน และสารส้ม เทียบกับที่ไม่แช พบว่าได้เจดสีม่วงน้ำเงินโดยผ้าฝ้ายที่เชมอร์แดนที่จะติดสีเข้มกว่าไม่เชมอร์แดนที่แชได้ทนแสงดีพอสมควรแต่ยังไม่ได้ทดลองซัก ขึ้นต่อไปจะนำมาทดลองเตรียมน้ำย้อมและย้อมผ้าไหม และทดสอบคุณภาพตามวิธีที่ใช้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมต่อไป

ผลสรุปทั้งหมดในโครงการวิจัยระยะที่ 2 ในช่วง 2 ปี ที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมในการขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้อยู่ในระดับที่เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้และเพิ่มเติมเกี่ยวกับการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่สกัดจากวัตถุดิบอื่นๆ ให้ได้เจดสีเพิ่มเติมนำมาทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ควบคู่กับการประเมินความยากง่ายของการผลิตการใช้และการเก็บรักษาสีย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมแก่การผลิตและการใช้ ผลการวิจัยได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปสูตรต่างๆ ที่ใช้ได้ดีหลายสูตรและหลายเจดสีทั้งที่เป็นสีหลัก 3 สี คือสีแดง เหลือง น้ำเงิน และ สีอื่นๆ เช่นเขียว ส้ม ม่วง น้ำตาล สีเบส และสีดำ โดยการผสมสีหลักและสกัดจากพืชที่ให้เจดสีนั้นโดยตรง ทดสอบการนำมาย้อมและตรวจสอบคุณภาพความคงทนต่อการซักและแสงพบว่าอยู่ในระดับดี ทำการหาปริมาณเนื้อสีในผงสีสูตรต่างๆ และปริมาณสีที่เหมาะสมในการใช้สีย้อมสูตรต่างๆ ทำการคัดเลือกวัตถุดิบสารให้สีที่มีปริมาณมากและถ้าเป็นพืชก็เป็นชนิดที่ส่งเสริมการปลูกง่ายเพื่อแนะนำส่งเสริมการปลูกวัตถุดิบสารให้สีที่จะนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างพอเพียงโดยไม่เป็นการตัดไม้ทำลายป่า อย่างไรก็ตามยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้มีชนิดและเจดสีมากขึ้นตามความต้องการของตลาด วิธีการผลิตที่ง่ายขึ้นมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยลง แต่ให้ได้ผงสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่ใช้ได้ง่ายขึ้นและเหมาะกับการใช้ย้อมเส้นใยชนิดต่างๆ นอกเหนือจากผ้าฝ้ายและไหม นอกจากนี้การเผยแพร่ผลงานวิจัยของโครงการวิจัยระยะที่ 2 ในงานครบรอบ 10 ปี สกว. ระหว่างวันที่ 19-23 กุมภาพันธ์ 2546 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานครและออกรายการโทรทัศน์ "คนไทยวันนี้" ของช่อง 7 สี เมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2546 ได้รับการชมรับชมอย่างมากมาจากทั้งภาครัฐและเอกชน มีผู้แสดงความสนใจที่จะลงทุนผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป มีผู้สนใจจะใช้สีผงสำเร็จรูปในการย้อมสิ่งทอ (ผ้าฝ้าย ผ้าไหมและเส้นใยอื่นๆ) โครงโบไม้ กระดาษสา เขียนผ้าบาติก เขียนรูปบนกระดาษ เครื่องไม้ มีผู้ต้องการใช้สีธรรมชาติเป็นสีผสมอาหารและเครื่องสำอาง ภาชนะพลาสติกใส่อาหาร รวมทั้งผู้ที่สนใจจะซื้อผลิตภัณฑ์สีย้อมดังกล่าวไปใช้และจำหน่ายอีกด้วย การเปิดตัวผลงานวิจัยชิ้นนี้จุดประกายให้เกิดความคิดสร้างสรรค์หลากหลายทั้งผู้ประกอบการนักวิชาการ และคณะผู้วิจัยเองก็เกิดแนวความคิดในการพัฒนาสารสีธรรมชาติให้ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากเป็นสีย้อม ดังนั้นงานวิจัยขั้นต่อไปทางด้านสีธรรมชาตินี้จึงน่าจะทำการปรับปรุงสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นและมีราคาต้นทุนถูกลงสามารถแข่งขันได้ในเชิงพาณิชย์และให้มีความพร้อมที่จะผสมสูตรสำเร็จจากวัตถุดิบต่างๆ ให้ได้สีและเจดสีต่างๆ ตามความนิยมและความต้องการของตลาด ควรดำเนินการวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการพัฒนาสารสีธรรมชาติให้ใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งที่เป็นสีย้อม สีผสมอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง ยารักษาโรค เครื่องเขียน สีวาดรูปและอื่นๆ โดยให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสีแวดล้อมและเพื่อส่งเสริมและจูงใจทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดีด้วยความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากองค์กรและบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย 2 ตลอดจนคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิและบุคคลากรสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย 2 ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและความสะดวกในการติดต่อประสานงานด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและทีมงานการพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมครอบครัวที่ใช้ความสะดวกเรื่องสถานที่การประชุมแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น ขอขอบคุณภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพที่อนุญาตให้บุคคลากรเข้ามาร่วมงานตลอดจนสถานที่และเครื่องมือในการทดลองบางส่วน ขอขอบคุณกลุ่มหอผ้าทุกกลุ่มในภาคเหนือและภาคอีสานที่ได้ให้ข้อมูลที่มีประโยชน์เกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติตลอดจนวัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยติดสีและแหล่งของวัตถุดิบดังกล่าว

ขอขอบคุณ Prof. Sui – Tein Chen และ ดร.ศุภโชค สิ้นไชยกุล จาก Department of Biological Chemistry, Academia Sinica, Taiwan, Professor Dr. Kazuo Yamasaki และ Assoc. Prof. Dr.Ryuji Kasai จาก Department of Medicinal Chemistry of Natural Product, Institute of Pharmaceutical Sciences, School of Medicine, Hiroshima University, Hiroshima และ Dr. Emi Okuyama, laboratory of Natural Product Chemistry, Chiba, University Chiba, Japan ที่ช่วยตรวจวัดสารให้สีจากวัตถุดิบที่ใช่ทดลองด้วย Mass spectrometry และ H^1 , C^{13} -NMR spectrometry เพื่อหาโครงสร้างเคมีของสารให้สี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ใกล้ชิดของทีมงาน ที่เป็นกำลังใจให้แก่ทุกคนในทีมงานตลอดเวลา 2 ปีที่ผ่านมา ท้ายสุดนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ประกอบการและผู้นิยมใช้สีย้อมธรรมชาติที่ช่วยให้แนวความคิดและสร้างแรงบันดาลใจให้กับคณะผู้วิจัยในการค้นคว้าพัฒนาสารสีธรรมชาติให้บรรลุวัตถุประสงค์ตรงตามเป้าหมายตามความต้องการของตลาด

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2547

บทคัดย่อ

ในการวิจัยเพื่อขยายขนาดการผลิตสีแปรรูปจากรากยอป่า ครั่ง ชม้น ครามและฮ่อม เพื่อให้เพียงพอที่จะนำไปเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้เชิงพาณิชย์นั้นเริ่มจากการสกัดสารสีจากวัตถุดิบธรรมชาติตั้งต้นในปริมาณมากเพื่อให้ได้น้ำสีปริมาณมากแล้วทำแห้งเป็นผงสีจากนั้นทดลองหาสูตรผสมผงสีโดยใส่สารที่ช่วยให้เม็ดสีเกาะตัวเป็นแกรนูลเช่น แลคโตส แป้งมัน อบแห้งแล้วนำเม็ดแกรนูลมาทดสอบการละลายคำนวณปริมาณเนื้อสีต่อกรัมเม็ดสี ทำการทดลองย้อมและตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสี สำหรับการหาสูตรผสมที่เหมาะสมสำหรับทำผงสีสำเร็จรูปเป็นเม็ดแกรนูลใช้ผงสีจากครามและฮ่อมทดสอบโดยใช้น้ำตาลแลคโตส หรือแป้งมันเป็นส่วนผสมพบว่าเม็ดแกรนูลที่ได้กระจายตัวในน้ำได้ยาก เมื่อเติมสารที่ช่วยในการย้อมสีพวกกรดซิตริก สารส้ม น้ำปูนใส และ wetting agent แล้วอัดเม็ดแกรนูลพบว่าเม็ดแกรนูลที่ได้กระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น เม็ดแกรนูลของสีทุกสูตรที่ทำสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดที่ 60°C แต่ก็ยังละลายไม่หมดถึงแม้จะเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีกก็ตามต้องการทั้งก่อนนำไปย้อม ผ้ายที่ย้อมด้วยสีแกรนูลที่มีแลคโตสผสมจะย้อมติดสีอ่อนสม่ำเสมอเพราะมีปริมาณเนื้อสีต่อกรัมน้อย แต่ที่ผสมด้วยแป้งมันสีจะต่างเพราะความร้อนที่ย้อมทำให้แป้งกลายเป็นแป้งเปียกเกาะติดผ้ายทำให้การย้อมไม่สม่ำเสมอ ส่วนวิธีหาปริมาณสารสีในสีแปรรูปนั้นจากการวิเคราะห์สารสีสกัดจากครามและฮ่อมพบว่ามียอดประกอบหลัก 2 ชนิด คือสารสีน้ำเงินเป็นอินดิโกและสารสีแดงเป็นอินดิโรบิน อินดิโกดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 611 นาโนเมตรจึงหาปริมาณโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 611 นาโนเมตรเทียบกับกราฟมาตรฐานการหาปริมาณอินดิโก ผลการหาปริมาณอินดิโกในเม็ดแกรนูลของสีย้อมสำเร็จรูปพบว่า เม็ดแกรนูล 1 กรัมจะมีอินดิโกอยู่ 2.8 มิลลิกรัม ถ้าตั้งต้นจากตะกอนเปียกของสารสีสกัด แต่ถ้าเริ่มจากผงสีแห้งปริมาณอินดิโกต่อกรัมเม็ดแกรนูลเท่ากับ 66.8 มิลลิกรัม ดังนั้นน่าจะเตรียมเม็ดแกรนูลจากผงสีแห้งที่ทำแห้งด้วยเครื่อง spray dryer อย่างไรก็ตามการขยายการผลิตสีธรรมชาติจากรากยอป่า ครั่ง และฮ่อมนั้นยังมีปริมาณไม่เพียงพอแก่การนำไปเผยแพร่เนื่องจากมีปัญหาเรื่องเครื่องทำแห้งแบบ spray dryer เสียอย่างถาวร คณะผู้วิจัยต้องเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) แทน แต่ก็ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงน้ำย้อมสำเร็จรูปให้เหมาะสมต่อไป

ในการทดสอบการย้อมผ้ายด้วยสีธรรมชาตินั้นเท่าที่ผ่านมาพบว่าผ้ายจะติดสีอ่อนและผลการทดลองในโครงการวิจัยระยะที่ 1 นั้นได้พบว่าการทำ premordant ผ้ายด้วยโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองก่อนย้อมจะทำให้ผ้ายย้อมสีติดเข้มและมีความคงทนต่อการซักขัดถูและแสงอยู่ในระดับดี ดังนั้นก่อนจะทำการขยายการผลิตสีแปรรูปสูตรต่างๆ คณะผู้วิจัยได้ทดลองหาปริมาณโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองหรือจากน้ำมันที่เหมาะสมในการทำ premordant ผ้ายที่ทำความสะอาดแล้วก่อนนำมาย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติให้ติดสีเข้มขึ้นพบว่าปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรขึ้นไปก็เพียงพอที่จะนำไปต้มกับผ้ายในอัตราส่วน 1: 20 (น้ำหนักผ้ายต่อปริมาณน้ำโปรตีน) แล้วทำให้ผ้ายติดสีย้อมเข้ม

ขึ้น ถ้าเริ่มจากแบ่งผิวเปลือกหรือบนผิวด้านหนึ่งของผิวด้านที่ใช้น้ำที่ละลายมีผลต่อการละลายของปริมาณโปรตีนและอุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ต้มจะทำให้โปรตีนละลายออกมาได้มากขึ้นด้วย ถ้าใช้ผิวด้านเปลือกหรือบนผิวด้านที่ใช้น้ำที่ละลายมีผลทำให้แบ่งที่ปนอยู่เกาะฝ่าย ทำให้ฝ่ายแข็งและน้ำสีเข้าฝ่ายได้ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังได้เตรียมน้ำสกัดจากผิวเปลือกแล้วทำแห้งอัดเป็นเม็ดแกรนูลและหาปริมาณโปรตีนต่อกรัมของเม็ดแกรนูลต่อน้ำในสัดส่วนที่ทำให้โปรตีนละลายออกมามากที่สุดที่อุณหภูมิห้องเพื่อเตรียมไว้เผยแพร่พร้อมกับสีย้อมสำเร็จรูปที่เตรียมขึ้น

ได้ทำการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวด้านที่สกัดและรากยอป่า ที่ทำแห้งด้วยเครื่อง spray dryer และจากการสกัดด้วยอัลกอฮอล์แล้วทำเป็นผงสกัดเข้มข้น นำมาทดลองปรงสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปแล้วทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งอัดเป็นเม็ดแกรนูลทดสอบการละลาย สีของสารละลาย การย้อมและความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีแล้วทำการคัดเลือกสูตรที่ใช้ได้ดีที่สุดมาทำการขยายขนาดการผลิต สำหรับสีจากรากยอป่าได้สูตร M1 สีจากครั้งได้สูตร L4 และยังได้ทดลองผสมน้ำย้อมสูตร M1 และ L4 เพื่อให้ได้เฉดสีออกสีแดงส้ม ทำแห้งเป็นสูตร ML14 การสกัดและปรงสูตรน้ำย้อมสีเหลืองจากขมิ้นนั้น พบว่าขมิ้นมีน้ำมันมากเวลาสกัดนำมาทำแห้งสีเกาะเป็นก้อนแข็ง เข้าเครื่องทำแห้งจะทำได้ยากมากจึงได้สกัดน้ำมันออกก่อนด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำแล้วนำน้ำสีที่สกัดน้ำมันออกแล้วมาปรงสูตรทำแห้งแล้วอัดเม็ดแกรนูลพบว่าสามารถทำได้จึงเลือกเป็นวิธีไว้ขยายขนาดการผลิตต่อไป สีจากครามและฮ่อมเริ่มจากการหมักเป็น paste แล้วนำ paste มาผสมสูตรโดยใช้กรดซิตริกหรือกรดทาร์ทาริก หรือครีมออฟทาทาร์มาช่วยปรับพีเอชน้ำย้อมให้อยู่ในช่วง 10-10.5 ก่อนทำแห้ง ได้เลือกสูตร I₂ สำหรับขยายขนาดการผลิต ผงใบยูคาลิปตัส นำมาสกัดน้ำมันออกแล้วทำแห้งได้น้ำย้อมสีน้ำตาลออกครีมติดทนและยังใช้เป็นมอร์แดนท์ในการผสมน้ำสีสูตรอื่นๆ ได้ด้วย

ได้นำวัตถุดิบที่ให้สารสีชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมพบว่า สารสีเหลืองจากผักเชียงดาก็สามารถนำมาทำแห้งและย้อมฝ้ายได้สีเหลืองสวย น้ำสกัดครั้งแรกสีเขียวออกเหลืองเมื่อต้มต่างปูนขาวได้สีเหลืองแต่สีติดฝ้ายไม่ทนแสงไม่เหมาะใช้ย้อมผ้าอีกทั้งผักเชียงดามีสารต้านอนุมูลอิสระมากเหมาะจะใช้ผสมอาหารมากกว่า สำหรับสารสีเหลืองนั้นยังได้จากเปลือกหอมหัวใหญ่ เปลือกส้มเขียวหวานและผิวเปลือกผลมะกรูดโดยต้องสกัดน้ำมันออกก่อนแล้วจึงนำน้ำสกัดที่เหลือมาต้มต่างผสมสูตรสำหรับทำแห้งเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป สีจากผิวเปลือกผลมะกรูดยังให้น้ำย้อมที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวด้วยมะกรูด (*Citrus hystrix* Linn.) ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae เมื่อนำผิวเปลือกผลมาสกัดสีออกแล้วแยกบริสุทธิ์หาโครงสร้างพบว่า เป็นสารประกอบ Flavanone ที่มีชื่อว่า Hesperidin สีเหลืองจากมะกรูดนี้ได้ทดลองผสมกับสีอินดิโกจากครามและฮ่อมได้เป็นสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปสีเขียวอ่อนถึงแก่ขึ้นกับสัดส่วนการผสมระหว่างสองสีนี้ สูตรที่ใช้ได้ดีที่เหมาะสมสำหรับการขยายขนาดการผลิตคือ สูตร GIF1 นอกจากนี้ยังมีสีจากเปลือกไม้สะนอยหรือไก่แดง (*Terstraenia gymnanthera* Bedd.) ถูกจัดอยู่ในวงศ์

Theraceae เมื่อนำมาสกัดด้วยน้ำต่างได้น้ำย้อมสีน้ำตาลแดงเข้มเติมสารส้มได้น้ำย้อมสีส้ม เมื่อแยกสกัดสารสีจากเปลือกไม้สะนอยพบองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นสารประกอบ Triterpenoid ชนิด Lupane-type triterpene และอีกชนิดหนึ่งเป็นสารประกอบจำพวกแทนนินชนิด Condensed tannin ทำการสกัดและผสมสูตรทำแห้งไว้เป็นสีย้อมสูตร B3 และ B4 และไว้เป็นมอร์แดนท์สำหรับสูตรผสมอื่นๆ ต่อไป นอกจากนี้ยังได้ศึกษาสีจากดอกทองกวาว (*Butea monosperma* Lamk.) เป็นสารสีกลุ่มฟลาโวนอยด์ให้สีส้มในน้ำต่างปูนใสผสมเป็นสูตรสีย้อมสำเร็จรูปและทำแห้งทดลองย้อมได้สีส้มไม่ใคร่ทนแสง สีส้มระหว่างสีแดงของครั่งหรือเปลือกสะนอยกับอินดิโกจากครามหรือย้อมให้สีย้อมสำเร็จรูปที่เป็นสีม่วงสูตร V1B1, V1B2 และ LI42 ซึ่งเป็นโทนสีม่วงต่างๆ กันตั้งแต่ม่วงน้ำตาล ม่วงแดง และม่วงน้ำเงิน

ได้ทำการทดสอบการใช้สีผสมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ ในการย้อมผ้าฝ้าย ไหม บานปอ ไยกันขง และเยื่อกระดาษพบว่า การละลายของสียังไม่ดีเท่าที่ควรสีบางสีมีตะกอนมาก สีบางสีที่ผสมกับสีน้ำเงินของอินดิโกจะย้อมไม่ติดสีอินดิโกและได้ทำการหาปริมาณความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายของสีย้อมสูตรสำเร็จรูปจากครั้งพบว่า ผงสี 35 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ติดสีเข้มและใช้ผงสีอย่างประหยัด

ได้ประชาสัมพันธ์สีผสมสูตรสำเร็จรูปแก่ผู้ประกอบการใน 7 จังหวัด ภาคอีสาน และภาคเหนือ ร่วมแสดงนิทรรศการผสมสีย้อมสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์ย้อมสี ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ในงานครบรอบ 10 ปี สกว. เมื่อปลายเดือนกุมภาพันธ์ 2546 และออกรายการคนไทยวันนี้ทางสถานีโทรทัศน์ช่อง 7 สี เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2546 นิทรรศการวันวิทยาศาสตร์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2546 และนิทรรศการ 10 ปี สกว. สัญจรภาคเหนือที่จังหวัดเชียงใหม่ในเดือนธันวาคม 2546 และให้คำปรึกษาเรื่องการผลิตและใช้สีย้อมธรรมชาติแก่โครงการ “บ้านทอฝัน” ที่อ.สังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี และผู้ผลิตและผู้ใช้สีธรรมชาติที่สนใจทั่วไป

ได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตสีธรรมชาติโดยการส่งเสริมการปลูกไม้ให้สีที่ใช้มากคือฮ่อมและคราม การเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี เช่นรากยอป่าที่สามารถได้กลุ่มเซลล์ที่ผลิตสารสีเช่นเดียวกับรากของต้นยอป่าและกำลังอยู่ในระหว่างการปรับปรุงให้เซลล์ผลิตสารสีได้มากขึ้นโดยใช้เวลาน้อยลงโดยปรับปรุงอาหารและภาวะการเลี้ยงเช่นการให้แสงและการเพาะในที่มืด เป็นต้น ส่วนการศึกษาสารให้สีจากจุลินทรีย์นั้นได้ศึกษาการผลิต pigment สีแดงจากแบคทีเรีย *Serratia* sp. PB ที่สกัดได้จากเห็ดน้ำหมากปรับปรุงภาวะการเลี้ยงและอาหารและพยายามใช้อาหารที่มีราคาถูกลงและเลี้ยงเซลล์ในถังหมักโดยการตรึงเซลล์ไว้บนฟองน้ำ และวัสดุตรึงเซลล์ต่างๆ พบว่าสามารถผลิตสีได้มากขึ้นกว่าเดิมและแยกเซลล์ออกจากน้ำเลี้ยงง่าย สีที่ได้สกัดออกจากเซลล์ได้ง่ายด้วย acidic ethanol ได้ทดลองนำมา

เตรียมน้ำย้อมและย้อมผ้าได้สีม่วงที่มีความคงทนขึ้นต่อไปจะทำการผลิตให้มากขึ้นและนำมาแยก
บริสุทธิ์ ศึกษาสมบัติและโครงสร้างทางเคมีต่อไป

Abstract

Expanding the production of ready-to-use natural dyes from morinda root, lac dye, *Curcuma longa* Linn., kram (*Indigofera tinctoria* Linn.) and hom (*Baphicacanthus cusia* Brem.) to get enough products for promotion was started by extracting pigments from large amount of natural raw materials to yield large amount of pigmented solution and dried to powder followed by mixing the dye stuff with lactose or tapioca starch for granulation. The amount of pigment per gram of granulated dye was determined. The granulated dyes were tested for dyeing and the quality of the dyed products were determined. The powder of the indigo dye from Kram and Hom was used to find the proper condition for the preparation of ready-to-use dye in granulated form. Using only lactose or starch powder to mix with the dye power, the granulated dye was difficult to disperse in water. The dispersion of the granulated dye was improved by mixing of some materials that always used in the dye bath namely, the potassalum, citric acid, calcium hydroxide and wetting agent with the dye powder before granulation. All granulated dyes dissolved well in water at 60°C but still some residue was left even at higher temperature which had to be filtered out before dyeing. The cotton dyed with the granulated dye containing lactose yielded smoothly pale colour due to low amount of pigment per gram of granulated dye while the granulated dye containing starch gave unevenly dyed product since the heat in the dyeing process led to sticky starch on the surface of the material to be dyed. Two major components were found in the extracted pigment from Kram and Hom, the blue pigment was indigo and the red pigment was indirubin. Indigo had maximum absorption at 611 nm and the amount of indigo in the granulated dye was then determined by uv-visible spectroscopic method using standard indigo as reference. It was found that granulation of indigo dye from indigo paste yielded 2.8 mg of indigo per gram of granules whereas granulated indigo dye from indigo powder gave 66.8 mg of indigo/ g of granule. Therefore, the dry powder of dye stuff should be used for preparation of granulated dye. Unfortunately, the spray dryer was permanently out of order and the amount of granulated dyes prepared by this method were still not enough for distribution to the user. However, we had got useful information to modify the proper formula for preparation of ready-to-use dyes using drum dryer instead.

Normally, cotton dyed with natural dyes gave low intensity of the color and the result obtained from phase 2 of our research project revealed that premordanting of cotton by

protein from soya bean milk before dyeing gave higher color intensity on the cotton. So, we varied the amount of soya bean or milk protein for premordanting cotton and found that the concentration of protein solution from 1 mg/ml for boiling cotton in a ratio of 1:20 (cotton wt/ volume of protein solution) was enough to obtain higher color intensity with good wash and light fastness. If soya bean starch or milk powder was used, the ratio of the powder to dissolving water effected the amount of the solubilized protein and at higher temperature with longer boiling period, more protein could be solubilized. If too high concentration of soya bean or milk was used, the starch would coat the cotton and the dye could not bind evenly to the cotton. Moreover, We also prepared the granulated soya bean milk and determined the amount of protein per gram of granule including the amount of soya bean milk granules in proper volume of water that highest amount of protein could solubilize at room temperature. This granulated soya bean milk was plan to promote the same time as the prepared ready-to-use dyes.

Production of ready-to-use natural dye started by using the lac dye and morinda root dye powder obtained from spray dry and from concentrated alcoholic extract. We prepared the dye solution in various formula which ready-to-use in the dye bath dried on drum dryer and granulated in the granulator. The water solubility of the granulated dye and pH of the dye solution were tested. The dye solution was used for dyeing cotton and the fastness of the dyed products were measured. The good formula were selected for the production of the ready-to-use dye in large quantity. The formula M1, L4 and ML14 were good formula from morinda root dye, lac dye and the mixture of the dye formula M1 and L4 in a ratio of 1:1 by volume, respectively. The dye extract from curcumin could not get powder on drying due to too much volatile oil in the extract. The volatile oil could be separated out by steam distillation before formulating the dye solution and drum drying. The granulated dye preparation from kram and hom started with indigo paste. The indigo paste was formulated with citric or tartaric acid or cream of tartar and the pH of the dye solution was adjusted to 10-10.5 before drying. In this case, the formula I2 was selected for large quantity production. The granulated dye from Eucalyptus leaves was also prepared after removing the volatile oil by steam-distillation which gave bage color on dyeing. This dye could also be used as mordant for dyeing and preparing other dye formula.

Some more other raw materials for natural dyes were also explored. It was found that yellow pigment from Pak Chiangda (*Gymnema inodorum* on *S. typhi*), a kind of vegetable could be used for dyeing in alkali condition but the dye gave poor light fastness. This vegetable contained a lot of antioxidant compounds which would be more useful in food than for dyeing. The yellow pigment could be also found in the peels of onion, orange and leech lime (*Citrus hystrix* Linn.) in Rutaceae family. These fruits contained a lot of volatile oils which had to be removed before preparation of the ready-to-use dye. The major component of the dye from *Citrus hystrix* Linn. was flavanone compounds called hesperidin which gave yellow color in alkali solution. This yellow pigment could be mixed with the blue color of indigo extract and gave yellowish green to bluish green dye solution depending on the ratio of these two pigments. The best formulae was GIF1. Another ready-to-use dye was prepared from the tree's bark called Snai or Kaidang (*Ternstroemia gymnanthera* Bedd.) in Theaceae family. This formulae gave redish-brown on dyeing cotton. Two major components could be found in the extract, one was Lupane-type triterpene and the other was condensed tannin. The best formula were B3 and B4 and these could also be used as mordants in natural dye dyeing. Moreover, the orange dye could be prepared from Tongkaow flower (*Butea monosperma* Lamk.), the pigment was flavonoid which gave orange-red color on dyed cotton but it had poor light fastness. The mixture between red color of lac dye or Kaidang bark and blue color of indigo gave various purple color tones from brownish-purple, redish-purple and bluish purple of the dye formula V1B1, V1B2 and LI42, respectively.

The prepared ready-to-use dyes were used in dyeing cotton, silk and other natural fibres. It was found that solubility of the dyes were not good enough, some dyes left too much residues. Indigo in some mixed dye formula had poor penetration into the fiber and lost of the blue color in the dyed product. The suitable amount of ready-to-use lac dye was 35 g of granulated dye per 1 liter of water for dyeing cotton in a ratio of 1:10 (weight of cotton : volume of dye solution).

The ready-to-use dyes had been promoted to the user at 7 provinces in the north and northeast region of Thailand. We had also joined the 10th Anniversary of Thailand Research Fund(TRF) exhibition at Sirikit National Meeting Center in February and at Chiang

Mai in December, 2003. The promotion was also in television channel 7 program "Thai people today " in May, 2003. Finally, we gave some advise on preparation of natural dye and dyeing process to the producers and users who showed their interest.

To obtain enough raw material for the production of the modified natural dyes, the common use pigmented plants such as Kram, Hom, Morinda, Curcuma longa etc. should be more cultivated. Another alternatives to increase the pigment productivity were to culture the pigmented plant cells and studied the pigmented microorganisms. We could culture the morinda root cells to produce the same pigments as the morinda plant. We also studied the pigmented bacteria *Serratia* sp. RB isolated from red mushroom and increased production by immobilized cells in polyethylene sheets. The red pigment was easily extracted by acidic ethanol and show the potential of using as natural dye.

สารบัญ

	หน้า
Excutive summary	A1
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ฉ
สารบัญ	ญ
บทที่ 1 บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.1 สีธรรมชาติและแหล่งของสารสี	1
1.2 เคมีของสารสีและสีย้อม	8
1.3 สารเคมีในสีธรรมชาติ	10
1.4 การวิเคราะห์สารสีธรรมชาติ	15
1.4.1 การแยกบริสุทธิ์	15
1.4.2 การวิเคราะห์	16
1.5 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ	18
1.5.1 ชนิดของเส้นใย	18
1.5.2 กรรมวิธีการย้อม	20
1.5.3 ความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ	22
1.5.4 คุณค่าของสีย้อมธรรมชาติและข้อจำกัดของการย้อม	25
1.6 การวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติและการย้อม	26
1.6.1 ประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัยและพัฒนาการ	27
ย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทย	27
1.6.2 พลิกฟื้นภูมิปัญญาไทยด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	28
1.6.3 กรอบวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติ	34
บทที่ 2 การพัฒนาการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มคงทน	36

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1 ผลการวิจัยและพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติ	36
2.2 การย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มและคงทน	38
2.3 การทดลองทำ premordant ฝ้ายด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองและน้ำมัน และการใช้สีย้อมอย่างมีประสิทธิภาพ	39
2.4 การศึกษาหาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันใน การต้มฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วก่อนย้อม	42
2.4.1 การเตรียมน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูกกลิ้งอัดเม็ด	
2.4.2 การหาปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบแหล่งต่างๆ ที่สามารถ นำมาต้มกับฝ้ายให้ติดสีย้อมดีขึ้น	44
2.4.3 หลักการหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีการจับสี Coomassie brilliant blue	45
2.4.4 วิธีการ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ด้วยความเข้มข้นต่างๆกันก่อนนำฝ้ายไปย้อมสีธรรมชาติ	49
2.4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโปรตีน จากน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer)	51
2.4.6 การทดลองย้อมฝ้ายที่ต้มกับน้ำโปรตีนปริมาณต่างๆ ด้วยสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ	52
2.4.6.1 การ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง คอยคำและนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ โดยแปรปริมาณจาก 0-1.8 และ 0-37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ	53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.6.2 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากผงน้ำถั่วเหลืองสกัด และทำแห้งแบบลูกกลิ้งโดยแปรปริมาณจาก < 0.04-0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	54
2.4.6.3 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากนมสดห้วยแก้ว โดยแปรปริมาณจาก 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร	56
2.5 สรุปผลการทดลองทั้งหมด	59
บทที่ 3 การพัฒนาการผลิตสึครามธรรมชาติสำเร็จรูป	60
3.1 ความเป็นมาของการย้อมสึครามจากธรรมชาติ	60
3.1.1 พันธุ์ไม้ที่ให้สึคราม	61
3.1.2 ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ว่าด้วยสึครามและการย้อม	63
3.1.3 ภูมิปัญญาดั้งเดิมในการเตรียมสึครามและ การย้อมครามจากธรรมชาติ	65
3.1.3.1 การผลิตเนื้อสึคราม	66
3.1.3.2 การก่อก้อนครามหรือการเตรียม น้ำย้อมคราม	67
3.1.3.3 การชุบสึครามหรือการย้อมสึคราม	68
3.2 การวิจัยเพื่อเตรียมสึครามจากธรรมชาติและพัฒนาเป็น สีย้อมสำเร็จรูปจากพื้นฐานภูมิปัญญาดั้งเดิม	69
3.2.1 ผลการสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีน้ำเงิน จากครามและย้อมจากการวิจัยระยะที่ 1	69
3.2.2 รายละเอียดผลงานวิจัยการผลิตสึครามธรรมชาติ สำเร็จรูปจากโครงการพัฒนาสารสีธรรมชาติระยะที่ 2	73

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.2.1 การหาสูตรผสมที่เหมาะสมสำหรับ	
ผงสีสำเร็จรูปอัดเม็ดแกรนูล	73
3.2.2.2 การทำเม็ดแกรนูลสูตรต่างๆ จาก	
ผงสีครามและฮ่อม การหาปริมาณ	
เนื้อสีและทดสอบการละลาย	74
3.2.2.3 ผลการศึกษาการแยกสารสีเพื่อการแปรรูป	79
3.2.2.4 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากฮ่อม	
สีสำเร็จรูปจากครามธรรมชาติ	81
3.3 สรุปผลการวิจัยเพื่อการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูป	
และแนวทางการพัฒนาปรับปรุง	89
บทที่ 4 การเตรียมสีแดงจากธรรมชาติเป็นสีย้อมสำเร็จรูป	92
4.1 สารให้สีแดงในธรรมชาติ	92
4.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า	93
4.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับยอป่าที่คัดเลือกมาศึกษา	93
4.2.2 การย้อมสีจากรากยอป่า	94
4.2.2.1 ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมฝ้ายด้วยรากยอ	94
4.2.2.2 การสำรวจเอกสารกระบวนการย้อมสีจากรากยอ	95
4.2.3 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์สารสีจากรากยอ	96
4.2.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัดและแปรรูปจากรากยอป่า	97
4.2.5 การขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติแปรรูปจาก	
รากยอป่า	97
4.2.5.1 การสกัดสีจากรากยอป่าบดแห้ง	98

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.5.2 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิต เม็ดแกลนูลของสารสีสกัดจากรากยอป่าและ ทดสอบสมบัติการละลายน้ำ	99
4.2.5.3 การทดลองย้อมด้วยฝ้ายด้วยสีจากรากยอ ป่าแปรรูปสูตรต่าง	101
4.2.6 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าสูตรต่างๆ	102
4.2.6.1 การเตรียมสีย้อมจากรากยอป่าสูตร M1	102
4.2.6.2 การเตรียมสีย้อมจากรากยอป่าสูตร M2, M3,M4และ M5	105
4.2.6.3 การเตรียมน้ำย้อมสีรากยอป่าสูตร M6	106
4.2.7 การพัฒนาปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่า	108
4.2.7.1 การพัฒนาสูตรสำเร็จสีย้อมรากยอป่าสูตร M1	109
4.2.7.2 การหาปริมาณเนื้อสีในสูตรสีย้อมสำเร็จรูป	109
4.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากครั้ง	110
4.3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับครั้งและสีครั้ง	110
4.3.2 ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมสีครั้ง	111
4.3.3 การสกัด วิเคราะห์องค์ประกอบหลักและศึกษาสมบัติ ของสารสีจากครั้ง	111
4.3.4 การศึกษาการแปรรูปสีจากครั้งในโครงการวิจัยระยะที่ 1	112
4.3.5 การขยายขนาดการผลิตสีธรรมชาติแปรรูปจากครั้ง	112
4.3.5.1 การทดลองหาสูตรสำเร็จที่เหมาะสมในการผลิต เม็ดแกลนูลของสารสีสกัดจากครั้ง	113

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.5.2 การเตรียมสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากครั่ง	115
4.3.5.3 การทดลองผสมสีย้อมสำเร็จรูปจากรากยอป่าและครั่ง	117
4.3.6 การปรับปรุงสูตรสีย้อมสำเร็จรูปจากครั่ง	118
4.3.6.1 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L1	119
4.3.6.2 องค์ประกอบของน้ำย้อมสูตร L2	119
4.3.7 การเตรียมสูตรสีย้อมจากครั่งโดยเริ่มจากน้ำล้างครั่งจาก โรงงานครั่งเม็ด	120
4.3.7.1 สูตรน้ำย้อมสีครั่งสูตร L3	120
4.3.7.2 สูตรน้ำย้อมสีครั่งสูตร L4	121
4.3.8 การหาความเข้มข้นของน้ำย้อมที่เหมาะสมในการย้อม	121
4.3.9 การหาปริมาณเนื้อสีจากครั่งในสูตรน้ำย้อมสำเร็จรูป	123
4.3.10 การย้อมไหมและเส้นใยอื่นๆ ด้วยสีครั่งผงสำเร็จรูป	124
4.3.11 การคำนวณต้นทุนการผลิตสีผงครั่งสูตร L4	124
4.3.12 สูตรสีย้อมสำเร็จรูปผสมระหว่างสีครั่งและรากยอป่า	125
4.4 สรุปผลการพัฒนาการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีแดงจากรากยอป่าและครั่ง	126
4.5 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาปรับปรุงต่อไป	127
บทที่ 5 การผลิตสีย้อมธรรมชาติสีเหลืองสำเร็จรูป	128
5.1 วัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีเหลืองและการย้อม	128
5.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้น	128
5.2.1 ข้อมูลการสกัด วิเคราะห์และแปรรูปสารสีเหลืองจากขมิ้น	128
5.2.2 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากขมิ้น	129
5.2.2.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C1	130
5.2.2.2 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C2	130

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2.2.3 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C3	131
5.2.2.4 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C4	131
5.2.2.5 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C5	132
5.2.2.6 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C6	132
5.2.2.7 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากขมิ้นสูตร C7	132
5.2.3 การปรับปรุงสูตรสีเหลืองสำเร็จรูปจากขมิ้น	134
5.2.3.1 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสูตร C6	135
5.2.3.2 การตรวจสอบสูตรสำเร็จสีขมิ้นสูตร C7	135
5.3 การหาวัตถุดิบที่ให้สีเหลืองเพิ่มเติมจากขมิ้น	136
5.3.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผักเชียงดา	136
5.3.1.1 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G1	136
5.3.1.2 การเตรียมสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดาสูตร G2	136
5.3.1.3 การตรวจสอบสีสำเร็จรูปจากผักเชียงดา	138
5.3.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด	138
5.3.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับมะกรูด	138
5.3.2.2 การสกัดสีเหลืองออกจากผิวเปลือกผลของมะกรูด	139
5.3.2.3 การแยกหาสารประกอบหลักสีเหลืองจากน้ำยาสกัด	
เอทานอลของผิวเปลือกผลมะกรูด	139
5.3.2.4 การแยกสารประกอบหลักสีเหลืองให้มีความบริสุทธิ์	140
5.3.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลัก	
สีเหลือง	140
5.3.2.6 สรุปผลการศึกษาสารประกอบหลักสีเหลือง	144
5.3.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด	144

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3.2.8 การปรับปรุงสีย้อมสำเร็จรูปจากผิวเปลือกผลมะกรูด	147
5.3.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกส้มเขียวหวาน	149
5.4 สรุปผลการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสีเหลืองจากธรรมชาติ	149
บทที่ 6 การผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปสีอื่นๆ	151
6.1 วัตถุประสงค์ธรรมชาติที่ให้สีอื่นๆ นอกเหนือจากสีหลัก 3 สี	151
6.2 การค้นหาวัตถุดิบสารให้สีเพิ่มเติม สกัด วิเคราะห์ทางเคมี เตรียมน้ำย้อม และทดลองย้อมพร้อมกับการตรวจสอบคุณภาพ	151
6.2.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากใบยูคาลิปตัส	153
6.2.2 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย(ไก่แดง)	154
6.2.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับต้นสะนอย	154
6.2.2.2 การศึกษาทางพิษวิทยาของเปลือกต้นสะนอย	155
6.2.2.3 การสกัดและแยกหองค์ประกอบหลักในน้ำยาสกัด เข้มข้นเอทานอลของเปลือกต้นสะนอย	156
6.2.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารที่แยกได้	157
6.2.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารผลึกสีขาว ที่แยกได้จากน้ำยาสกัดเอทานอลของเปลือกต้นสะนอย	157
6.2.2.6 การแยกหองค์ประกอบหลักที่ให้สีแดงในน้ำยา สกัดเข้มข้นเอทานอลของเปลือกสะนอย	159
6.2.2.7 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย	161
6.2.2.8 การตรวจสอบสีย้อมสำเร็จรูปจากเปลือกต้นสะนอย	163
6.2.3 การผลิตสีย้อมสำเร็จรูปจากดอกทองกวาวและ เปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อหอม	165

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.2.3.1 สีจากดอกทองกวาว	165
6.2.3.2 สีจากเปลือกหอมใหญ่ติดเนื้อหอม	166
6.2.3.3 การหาปริมาณสารสีจากดอกทองกวาวในผงสีสำเร็จรูป	167
6.3 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปโดยการผสมสีหลัก 3 สีจากธรรมชาติ	168
6.3.1 การเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปสูตรผสม	
6.3.1.1 การเตรียมสีสูตรผสมจากรากยอป่าและครั่งสูตร ML1	169
6.3.1.2 การเตรียมสีสูตรผสมจากรากยอป่าและขมิ้นสูตร C2	169
6.3.1.3 การเตรียมสีผสมจากไพล(Y1) เพกา (Y2) แก่นขนุน (Y3)	
สีขมิ้นผสมรากยอป่า (C3) เป็นสูตร Ymix	170
6.3.1.4 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่าและขมิ้นสูตร C7	170
6.3.1.5 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่า ขมิ้นและอินดิโก	
จากฮ่อมสูตร G3	170
6.3.1.6 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่าและ paste	
จากฮ่อมสูตร G4	171
6.3.1.7 การเตรียมสีผสมจากรากยอป่าและอินดิโก	
จากฮ่อมสูตร V1	171
6.3.1.8 การเตรียมสูตรสีผสมขมิ้นสูตร C5 และอินดิโกจาก	
ฮ่อมสีผสมสูตร G5	171
- 6.3.1.9 การเตรียมสูตรผสมสีขมิ้นกลั่นน้ำมันออกแล้วกับ	
อินดิโกจากฮ่อมสูตร C8	171
6.3.1.10 สีผสมจากผิวมะกรูด(Y4) และอินดิโกจากฮ่อม(I2)	
เป็นสีผสมสูตร G6	172

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

6.3.1.11 สูตรผสมสีจากย้อมสูตร I3 และผิวมะกรูด (Y4) เป็น G7	172
6.3.1.12 การเตรียมสูตรผสมสีเปลือกไม้ตะนอย(B4) และสี จากใบยูคาลิปตัส(E1) เป็นสูตร B4.1	172
6.3.2 การประเมินผลการเตรียมเม็ดแกรนูลของสีสำเร็จรูปสูตรต่างๆ	174
6.3.3 การปรับปรุงและเพิ่มเติมการเตรียมสีย้อมสำเร็จรูปสูตรผสม	176
6.3.3.1 สูตรสีเขียว	177
6.3.3.2 สูตรสีม่วง	178
6.4 การทดลองย้อมสีสูตรสำเร็จบนวัสดุอื่นนอกจากผ้าฝ้ายและไหม	180
6.4.1 การย้อมสีเชือกจากป่านและปอ	180
6.4.2 การย้อมสีโครงใบไม้	180
6.4.3 การย้อมสีรังบวบ	180
6.4.4 การย้อมสีเยื่อกระดาษ	181
6.5 สรุปผลการวิจัยการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปสูตรต่างๆ และข้อเสนอแนะ	181
บทที่ 7 การส่งเสริมการผลิตและการใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป	183
7.1 การประชาสัมพันธ์การผลิตและการย้อมสีธรรมชาติสำเร็จรูป	184
7.2 การแนะนำส่งเสริมให้ชุมชนทดลองใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้น	188
บทที่ 8 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติ	191
8.1 การส่งเสริมการปลูกพืชให้สีและสารช่วยติดสี	192
8.2 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี	193
8.3 การเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์	198
8.3.1 การผลิตสารสีกลุ่มคาโรทีนอยด์	199
8.3.2 การผลิตสารเมลานิน	199

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
8.3.3 การผลิตสารสีจากเชื้อรา	199
8.3.4 การผลิตสารสีจากแบคทีเรีย	201
8.4 สรุปผลการศึกษาการเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติ	205
เอกสารอ้างอิง	206
ภาคผนวก การทดสอบความคงทนของสีย้อม	216

บทที่ 1

บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนุษย์รู้จักการใช้สีจากวัสดุธรรมชาติคือ พืช สัตว์ ดิน หิน แร่ธาตุต่างๆ มาช้านาน โดยนำมาตกแต่งสีของอาหาร เครื่องแต่งกาย เครื่องมือเครื่องใช้ ที่อยู่อาศัยและในบางครั้งใช้เป็นยารักษาโรค การรู้จักใช้วัสดุจากธรรมชาติมาแต่งแต้มสีสันให้กับชีวิตในแง่มุมต่างๆ จึงเป็นความรู้อีกแขนงหนึ่งที่มีการพัฒนาการสืบทอดกันต่อมา แต่การถ่ายทอดจะมีกันเฉพาะภายในแต่ละครอบครัวหรือชนกลุ่มเดียวกันไม่เป็นที่แพร่หลายและไม่มีการบันทึกไว้เป็นหลักฐานประกอบกับการที่สังคมได้พัฒนาขึ้นไปสู่ยุคของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำให้ชนรุ่นหลังไม่สนใจที่จะศึกษาและสืบทอด ภูมิความรู้เหล่านี้จึงค่อยๆ สูญหายไปกับกาลเวลา นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการผลิตสีสังเคราะห์ขึ้นมากมายหลายสีหลายเฉดให้เลือก เป็นสีที่ย่อมง่ายมีความคงทนและราคาถูกทำให้มีผู้นิยมใช้สีสังเคราะห์กันมากขึ้น แต่สีเหล่านี้มักจะมีโครงสร้างเคมีเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นพิษต่อเยื่อผิวหนัง สมอง ระบบประสาท หัวใจและเลือด และยังทำให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ด้วยสาเหตุเหล่านี้ทำให้มีการหันกลับมาหาสีย้อมธรรมชาติกันมากขึ้นเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษแต่ปัญหาของการใช้สีย้อมจากธรรมชาติก็มีมาก เช่น การเตรียมสีทำได้ยาก สีที่ได้แต่ละครั้งไม่เหมือนเดิม กรรมวิธียุ่งยากซับซ้อนและมีความแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น สีไม่คงคน เป็นต้น ต้องมีการวิจัยและพัฒนาโดยอาศัยภูมิปัญญาดั้งเดิมประกอบกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเข้ามาประกอบเพื่อฟื้นฟูการกลับมาของความนิยมในการใช้สีธรรมชาติ

ชุมชนชาวไทยเองมีการใช้สีธรรมชาติมากกว่า 3000 ปีแล้วโดยการคาดคะเนจากหลักฐานภาพเขียนสีก่อนประวัติศาสตร์ที่ผาแต้ม จังหวัดอุบลราชธานี และงานหัตถกรรมสิ่งทออันเป็นมรดกทางวัฒนธรรมไทยก็เป็นอีกหลักฐานหนึ่งที่บ่งชี้ว่า ภูมิปัญญาการย้อมสีธรรมชาติบนเส้นใยธรรมชาติในผ้าโบราณอายุหลายร้อยปี หลังจากที่มีการผลิตสีสังเคราะห์ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2399 สีสังเคราะห์ก็เข้ามามีบทบาทแทนที่สีย้อมธรรมชาติมากขึ้นตามลำดับ เพราะใช้สะดวกกว่า มีคุณภาพดีกว่าและมีหลากหลายสีและหลายเฉดให้เลือกมากกว่า ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา กระแสเกี่ยวกับอันตรายจากสีสังเคราะห์บางกลุ่มที่เป็นสารก่อมะเร็งประกอบกับกระแสต่อต้านมลพิษสิ่งแวดล้อมเป็นแรงผลักดันให้สีย้อมธรรมชาติกลับมาได้รับความสนใจอีกครั้งหนึ่ง และการกลับมาใหม่ของสีธรรมชาตินี้มีปัญหาที่ท้าทายให้มีการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยด้วย

1.1 สีธรรมชาติและแหล่งของสารสี

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ สีที่ได้จากพืชมักเป็นสารอินทรีย์ได้จากส่วนต่างๆ ของพืชตั้งแต่ราก เปลือก ราก ลำต้น เปลือกต้น แก่นไม้ ใบ ดอก ผลและเมล็ด สีจาก

สัตว์มักเป็นสีที่ได้จากแมลง เช่น ครั่งซึ่งพบมากในประเทศไทยนั้นเป็นสีในกลุ่มสีแดงที่ขับออกมาจากตัวแมลง *Laccifera lacca* นิยมใช้ย้อมไหมและขนสัตว์ และใช้เป็นสีผสมอาหาร สีจากจุลินทรีย์พบมากในรา ยีสต์และแบคทีเรีย

ความรู้เกี่ยวกับต้นไม้อะและสัตว์ที่นำมาใช้ย้อมสีได้ถูกบันทึกไว้ตามเอกสารต่างๆ รวมทั้งถ่ายทอดด้วยปากเปล่าสืบมาจนถึงปัจจุบัน เช่น บันทึกของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติเกี่ยวกับสีที่ใช้ย้อมผ้า ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 สีย้อมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ

ย้อมด้วย	สี
ขมิ้นชัน ใบสักและเปลือกไม้	1. สีกาเกี
แก่นขนุน	2. สีกาเกีแก่นหรือสีกลัก
ใบสมอป่า แก่นขนุน เปลือกเพกา	3. สีกาเกีแกมเขียวหรือเขียวแก่
ใบแค	4. สีเขียวอ่อน
เปลือกสมอกับใบสมอ	5. สีเขียวแก่
ใบสับปะรดอ่อนกับน้ำมะนาวหรือน้ำมะกรูด	6. สีเขียวทองอ่อน
ขมิ้น แก่นไม้แกลแล แก่นขนุน ลูกมะกาย	7. สีเหลือง
แก่นแกลแล รากยอป่ากับผิวมะกรูด	8. สีเหลืองอ่อน
แก่นขนุน	9. สีเหลืองแก่
ดอกคำแสด	10. สีจำปา
แก่นยอป่า	11. สีไพร
รากยอป่า	12. สีนวล
ผลและใบแสด	13. สีแสด
เปลือกสมอ	14. สีแดงยอ
รากยอป่า ต่างไม้เหมือด ผลคำแสด	15. สีแดง
ใบครามและใบย้อม	16. สีน้าเงิน
สมอ มะเกลือ	17. สีดำ

นอกจากนี้กรรมป้าไม้โดย วนิดา สุปรรณเสณีได้รวบรวมไว้ในหนังสือของป่าในประเทศไทยซึ่งแสดงไว้ใน ตาราง 1.2

ตาราง 1.2 สัตว์ธรรมชาติจากพืชและสัตว์

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้	สี
1	กรรณิการ	<i>Nyctanthes arbor-tristis</i> Linn.	ผลสดดอก	เหลืองทอง
2	ก่อ	<i>Quercus</i> spp.	เปลือก	เหลืองเข้ม
3	ก้านเหลือง	<i>Nauclea orientalis</i> Linn.	แก่น	เหลือง
4	กระเจาย	<i>Caesalpinia sepiaria</i> Roxb	ลูก	ดำ
5	แกแล	<i>Maclura cochinchinensis</i> Corner.	แก่น	น้ำตาล
6	โงกทางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir.	เปลือก	น้ำตาล
7	โงกทางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.	เปลือก	น้ำตาลแกมเหลือง
8	ขนุน	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lamk.	แก่น ราก	เหลือง
9	ขนุนป่า	<i>Artocarpus lanceifolius</i> Roxb.	แก่น	เหลือง
10	ขมิ้นชัน	<i>Curcuma domestica</i> Valetton.	หัว	เหลือง
11	ขี้กา	<i>Adeia penangiana</i> Wilde.	เปลือก	เขียว
12	ขี้เหล็ก	<i>Cassia siamea</i> Britt.	แก่น	เหลือง
13	คนทา	<i>Harrisonia perforata</i> Merr.	ผล	ดำ
14	คราม	<i>Indigofera tinctoria</i> Linn.	ต้น	น้ำเงิน
15	คาง	<i>Albizia odoratissima</i> Benth.	เปลือก	น้ำตาล
16	แคขาว	<i>Dolichandrome rheedii</i> Seem.	ใบ	เขียว
17	เคี่ยม	<i>Cotylelobium melanoxylon</i> Pierre.	เปลือก	น้ำตาลดำ
18	คำป่า	<i>Mallotus philippinensis</i> Muell Arg.	ราก ดอก	แดง
19	คำฝอย	<i>Carthamus tinctorius</i> Linn.	ดอก	แดง
20	คำแสด	<i>Bixa orellana</i> Linn.	เมล็ด	แสด
21	แฉลบแดง	<i>Acacia leucophloea</i> Willd.	เนื้อไม้	แดงน้ำตาล
22	ตะขบไทย	<i>Flacourtia cataphracta</i> Roxb.	ใบ	เขียวขี้ม้า
23	ตะโกนา	<i>Diospyros retrofracta</i> Bakh.	ลูก	น้ำตาล

ตาราง 1.2 สัตว์รวมชาติจากพืชและสัตว์(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้	สี
24	ต้นเต้าตัน	<i>Diospyros ebertioides</i> wa.; Ex. G. Don.	ผล	ดำ
25	ดีวชน	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack) Byer.	เปลือก	น้ำตาลเข้ม
26	ทองกวาว	<i>Butea monosperma</i> O.Ktze.	ดอก	เหลือง
27	ทับทิม	<i>Punica granatum</i> Linn.	เปลือกผล	เขียว
28	เทียนกิ่ง	<i>Lawsonia inermis</i> Linn.	ใบ	ส้มแดง
29	นนทรี	<i>Peltophorum pterocarpum</i> Back.ex Heyme.	เปลือก	น้ำตาลเหลือง
30	นมแมว	<i>Uvaria kurzii</i> King	เปลือก	น้ำตาล
31	ประดู่	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	แก่น	แดง
32	ประสัก	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> Lamk.	เปลือก	น้ำตาลแดง
33	โปรงขาว	<i>Ceriops decandra</i> Ding Hou.	เปลือก	น้ำตาล
34	ฝาง	<i>Caesalpinia sappan</i> Linn.	แก่น	แดง
35	ฝาดแดง	<i>Lumnitzera littorea</i> (Jack) Voigt.	เปลือก	สีอิฐ
36	พะยอม	<i>Shorea roxburghii</i> G. Don.	เปลือก	น้ำตาลส้ม
37	พุด	<i>Gardenia cickubsae</i> Craib.	เนื้อไม้	เหลือง
38	พุดซ้อน	<i>Ervatamia coronaria</i> Shapf	เมล็ด	แดง
39	เพกา	<i>Oroxylum indicum</i> Vent.	เปลือก	กาบ
40	มะกล่ำต้น	<i>Adenanthera pavonina</i> Linn.	เนื้อไม้	แดง
41	มะกั้ว	<i>Canarium kerrii</i> Craib.	ผล	ดำ
42	มะเกลือ	<i>Diospyros mollis</i> Griff.	ผล	ดำ
43	มะขามไทย	<i>Tamarindus indica</i> Linn.	ใบ	เหลือง
44	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> .	เปลือกใบ	น้ำตาลเหลือง
45	มะเดื่อหนอง	<i>Garcinia thorelii</i> Pierre.	ยาง	เหลือง
46	มะตูม	<i>Aegle marmelos</i> Corr.	เปลือกผลดิบ	เหลือง

ตาราง 1.2 สรรพชาติจากพืชและสัตว์(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้	สี
47	มะพลับ	<i>Dispyros embryopteris</i>	ลูก	น้ำตาล
48	มะทุค	<i>Garcinia vilersiana</i> Pierre.	เปลือก	เหลือง
49	มะยมป่า	<i>Ailanthus triphysa</i> Alston.	ใบ	ดำ
50	มะหาด	<i>Artocarpus lakoocha</i> Roxb.	เปลือก	น้ำตาลเหลือง
51	มังคุด	<i>Garcinia mangostana</i> Linn.	เปลือกผล	เหลือง
52	เม็ก	<i>Macranga tanarius</i> Mrell.Arg.	ใบ	น้ำเงิน
53	ยมหอม	<i>Toona ciliata</i> Roxb.	ดอก	แสดแดง
54	ชอบ้าน	<i>Morinda citrifolia</i> Linn.	ราก เปลือก เนื้อไม้	เหลือง
55	ยอป่า	<i>Morinda coreia</i> Ram.	ราก เปลือก เนื้อไม้	แดง
56	ยูคาลิปตัส	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Behnh.	ใบ	เหลือง
57	รง	<i>Garcinia hanburyi</i> Hook. F.	ยาง	เหลือง
58	รกฟ้า	<i>Terminatia alata</i> Heyne ex Roth.	เปลือก	ดำ
59	เล็บรอก	<i>Toddalia asiatica</i> Lamk.	ราก	เหลือง
60	เลี่ยน	<i>Melia azedarach</i> Linn.	ใบ	เขียว
61	สนทะเล	<i>Casuarina equisetifolia</i> J.R. Forst.	เปลือก	น้ำตาลแดง
62	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz.	เปลือก ผล	ดำ
63	สมอพิเภก	<i>Terminalia bellerica</i> Roxb.	เปลือก ผล	เขียวขี้ม้า
64	สมอหิน	<i>Vitex pubescens</i> Vahl.	ลูก	ดำ
65	สะเดา	<i>Azadirachta indica</i> Juss. Var. <i>Siamenis valeaton</i>	เปลือก	แดง
66	สัก	<i>Tectona grandis</i> Linn.f.	ใบอ่อน แก่น	แดง
67	สับปะรด	<i>Ananas bracteatus</i> Schult.F.	ใบอ่อน	เขียว
68	สีหบัญ	<i>Carallia lucida</i> Roseb	ลูก	ดำ

ตาราง 1.2 สีสรรพชาติจากพืชและสัตว์(ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อทางการ	ชื่อพฤกษศาสตร์	ส่วนที่ใช้สี	สี
69	สีเสียด	<i>Acacia catechu</i> Willd.	เนื้อไม้	น้ำตาล
70	สุพรรณิการ์	<i>Cochlospermum religiosum</i> (L.) Alston	แก่น	เหลือง
71	แสมดำ	<i>Avicennia officinalis</i> Linn.	เปลือก	น้ำตาลแดง
72	เสนียด	<i>Adhatoda vasica</i> (L.) Nees	ใบ	เหลือง
73	หม่อน	<i>Morus alba</i> Linn.	แก่น	เหลือง
74	หมาก	<i>Areca catechu</i> Linn.	ลูก	น้ำตาล
75	หว่า	<i>Eugenia cumini</i> (L.) Druce	ลูก	ม่วงอ่อน
76	ห้อม	<i>Strobilanthes fleccidifolia</i> Nees	ใบ	น้ำเงิน
77	หูกวาง	<i>Terminalia catappa</i> Linn.	ใบแก่	เขียวขี้ม้า
78	ช้อยช้าง	<i>Lannea coromandelica</i> Merr.	เปลือก	น้ำตาล
79	ช่อม	<i>Baphicacanthus cusia</i> Brem	ใบ	น้ำเงิน
80	ครั่ง	<i>Laccifer lacca</i> Kerr.	ตัวแมลง	แดง

จากต้นไม้ 80 ชนิดที่มีการนำมาใช้ย้อมสีในตารางที่ 2 ยังมีการนำต้นไม้อื่นๆมาเพื่อให้เกิดเฉดสีเพิ่มมากขึ้น เช่น แก่นแกลกับต้นครามให้สีเขียว ใบแคสดกับขมิ้นผงให้สีทองอ่อน ผลหมากสุกกับแก่นแกลให้สีกากีแกมเหลือง ใบส้มป่อยกับขมิ้นให้สีเขียว เป็นต้น

ดังนั้นสีธรรมชาติจึงหมายถึง รงควัตถุหรือสารสีที่สังเคราะห์จากสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจจะสะสมอยู่ในเซลล์หรือปลดปล่อยออกมานอกเซลล์โดยสารสีที่พบในพืชทั่วๆ ไป ประกอบด้วย เบต้าลาโนน เมลานิน แอนทราควิโนน และแนพทราควิโนน และสารสีที่พบในพืชบางสกุล เช่น คาโรทีนอยด์ แซนโทฟิลล์ และฟลาโวนอยด์ ส่วนแอนทราควิโนนเป็นสารสีที่พืชจะสังเคราะห์ในบางสภาวะเท่านั้น เช่น ในผลไม้สุก การนำสารสีจากพืชมาใช้เป็นสีย้อมธรรมชาตินั้นพบว่ามีการใช้สีแดงจากรากยอป่า ซึ่งเป็นสารสีในกลุ่มแอนทราควิโนน นอกจากนี้ยังได้จากส่วนอื่นๆ ของพืช เช่น สีเหลืองจากขมิ้น แกล สีน้ำเงินจากครามและช่อม เป็นต้น สีย้อมจากพืชเหล่านี้จะต้องใช้พื้นที่ในการปลูกและระยะเวลาในการปลูกและการเก็บเกี่ยวนานซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบันต้องมีการส่งเสริมการปลูกไม้ให้สีหลักให้มากขึ้นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งเป็นการเพิ่มผลผลิตสารให้สีธรรมชาติเสริมจากการส่งเสริมการปลูกคือการศึกษากายภาพและเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สีที่สามารถให้สีได้มากในระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่สั้นลง หากทำได้จะประหยัดพื้นที่และเวลาและสามารถสกัดสารสีให้บริสุทธิ์ได้ง่ายขึ้น สำหรับ

สารสีจากสัตว์โดยทั่วไปจะพบเมลา닌 และคาโรทีนอยด์ และยังขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ด้วย เช่น ในแมลงบางชนิดสามารถสร้างสารสีในกลุ่มฟลาโวนอยด์และควิโนน การนำรงควัตถุจากสัตว์มาเป็นสีย้อมในประเทศไทยมีเพียงครั้งชนิดเดียวเท่านั้น แต่ปัจจุบันคนไม่นิยมเลี้ยงครั้งเนื่องจากหันไปใช้สีสังเคราะห์สะดวกกว่าจึงทำให้ครั้งหาได้ยากมาก มีเพียงบางจังหวัดเช่น แพร่ ลำปาง ที่ยังมีผู้ปล่อยครั้งส่งโรงงานทำครั้งเม็ดซึ่งก็น้อยลงทุกทีเพราะขาดต้นไม้เช่น ต้นจำจาเพื่อปล่อยครั้งจึงควรส่งเสริมการปลูกต้นจำจาเพื่อการปล่อยครั้งให้มากขึ้นด้วย

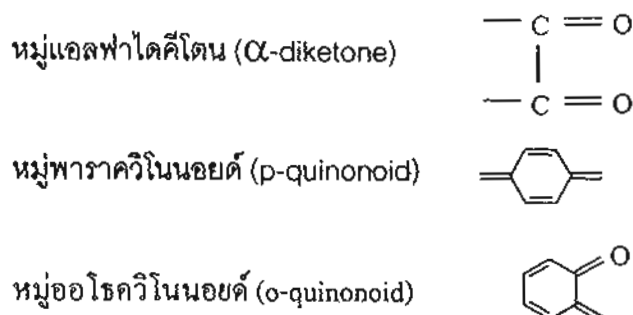
ในสิ่งมีชีวิตเช่น ไคเคนส์ ซึ่งเป็นการอยู่ร่วมกันของเชื้อรากับสาหร่าย หรือรากกับไซยาโนแบคทีเรีย พบว่าสามารถผลิตสารสีในกลุ่มแอนทราควิโนนและแนพทราควิโนนได้หลากหลายสี ได้แก่ สีเหลือง สีแดง จนถึงสีม่วงและเคยนิยมใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติในประเทศแถบสก็อตแลนด์และนอร์เวย์ โดยเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนในราวคริสต์ศตวรรษที่ 19 แต่ปัจจุบันไม่ได้มีการสืบทอดไว้การใช้สีย้อมจากไคเคนส์จึงหมดไป ที่ยังมีอยู่ก็คือการใช้เป็นสารสีในการย้อมสีทางชีววิทยาและใช้เป็นตัวชี้พีเอชของสารละลาย ดังนั้นการใช้สีย้อมธรรมชาติจากไคเคนส์จึงเป็นสีย้อมที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง ส่วนการสร้างรงควัตถุจากยีสต์และรา นั้นพบว่าเชื้อส่วนใหญ่สร้างรงควัตถุในกลุ่มควิโนน เช่น เชื้อรา *Furarium* และ *Nectria* สร้างแอนทราควิโนน ส่วน *Penicillium* และ *Aspergillus* สร้างแนพทราควิโนน นอกจากนั้นในเชื้อราชั้นสูงพบว่าการสร้าง คาโรทีนอยด์ เช่นเดียวกับในยีสต์ที่สร้างรงควัตถุหรือสารสีทั้งที่อยู่ในเซลล์และปล่อยออกมานอกเซลล์ มีทั้งที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ โดยสารสีที่ปล่อยออกมานอกเซลล์เป็นสารสีที่ละลายน้ำได้ ทั้งนี้สารสีจากเชื้อราสามารถนำมาใช้เป็นสีผสมอาหาร เช่น สารสีจากเชื้อรา โมแนลคัส ที่เพาะเลี้ยงในข้าวแดง สารสีกลุ่มคาโรทีนอยด์นั้นใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารและทางการแพทย์เนื่องจากสารเคมีบางตัวมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และสารสีบางชนิดในกลุ่มแอนทราควิโนนมีสมบัติเป็นสารปฏิชีวนะ จะเห็นได้ว่าสารสีจากจุลินทรีย์ได้แก่เชื้อราเป็นสารสีอีกกลุ่มหนึ่งที่น่าสนใจโดยเฉพาะสารสีที่เชื้อราผลิตและปล่อยออกมานอกเซลล์ สามารถสกัดและนำมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายการเพาะเลี้ยงเชื้อราทำได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ เนื่องจากต้องการอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ซับซ้อนและการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงเพื่อผลิตสารสีก็ทำได้ไม่ยากนักสำหรับสารสีกลุ่มสุดท้ายเป็นสารสีที่ได้จากแบคทีเรีย พบว่าแบคทีเรียส่วนใหญ่ทั้งที่เป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงและไม่สังเคราะห์แสงสามารถผลิตคาโรทีนอยด์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเบต้าคาโรทีน แต่ไม่พบว่าแบคทีเรียผลิตควิโนนและเมลา닌 แบคทีเรียบางกลุ่มเช่น *Pseudomonas* sp. สามารถสร้างสารสีในกลุ่ม ฟีนานทีนซึ่งเป็นสารสีที่ละลายน้ำได้และมีประโยชน์ในทางการค้าโดยการใช้เป็นสารปฏิชีวนะ นอกจากนี้ยังมีสารสีอีกกลุ่มหนึ่งที่แบคทีเรีย *Serratia* sp. สร้างขึ้นมีโครงสร้างทางเคมีเป็นไตรไพโรล (tripyrrole) ให้สีแดงเข้มจนถึงม่วงมีชื่อเรียกว่า โปรดิโกอิน (prodigiosin) เป็นสารที่สกัดได้ง่ายและคงทนต่อแสง ออกซิเจนและความร้อนจึงเป็นสารสีอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาไปเป็นสีย้อมธรรมชาติ นอกจากนั้นยังมีแบคทีเรียในบางสปีชีส์ของ *Pseudomonas* ที่

สามารถสร้างสารสีน้ำเงินซึ่งเรียกว่าเป็น bacterial indigo เนื่องจากมีโครงสร้างคล้ายอินดิโกในพืช จึงน่าจะนำมาพัฒนาเป็นสีย้อมเสริมจากสีอินดิโกที่ได้จากครามและฮ้อม ดังนั้นการใช้สีย้อมธรรมชาติจากจุลินทรีย์เพื่อทดแทนสีสังเคราะห์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถให้ผลผลิตสูงควบคุมสภาวะการผลิตได้ง่าย และจุลินทรีย์สามารถให้สีหลัก 3 สี คือ สีแดง เหลือง และน้ำเงิน ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ดังกล่าวจึงน่าจะเป็นอีกทางหนึ่งซึ่งเสริมจากการส่งเสริมการปลูกพืชให้สี

1.2 เคมีของสารให้สีและสีย้อม

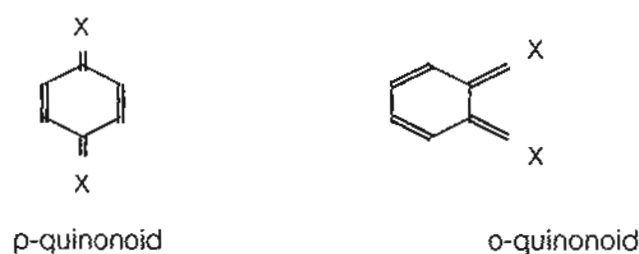
สารให้สีนั้นมีทั้งที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์สารประกอบอินทรีย์ที่ใช้สีมักจะเป็นของผสมออกไซด์ของโลหะ หรือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ เช่นออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียม เป็นต้น สีประเภทนี้เคยใช้เป็นสีย้อมในอดีตโดยที่สารให้สีเหล่านี้จะเกิดการตกตะกอนในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่มีความคงทนต่อแสงมาก ในประเทศไทยมีการย้อมสีในกลุ่มนี้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยการหมักโคลนและดินแดงซึ่งมีสารพวกอะลูมิเนียมซิลิเกตและส่วนให้สีเป็นออกไซด์ของโลหะที่มีอยู่ในโครงสร้างของดินส่วนมากโลหะที่ใช้ได้แก่ เหล็ก ตะกั่ว นิเกิล ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์และโครเมียม ตัวอย่างเช่น สีเหลืองจากตะกั่วโครเมต สีฟ้าที่ใช้ย้อมฝ้ายในอดีตได้จากออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียมเป็นต้นจะเห็นได้ว่าสีจากแร่โลหะดังกล่าวเป็นโลหะหนักซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในปัจจุบันจึงหมดความนิยมไป ส่วนสารให้สีในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์นั้นมักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนประกอบด้วยธาตุคาร์บอนต่ออยู่กับอะตอมของธาตุอื่นๆซึ่งส่วนมากเป็นไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวงและมีโครงสร้างประกอบด้วยวงเบนซีน (benzene ring) หรือเบนโซควิโนอยด์ (benzoquinoid) ตามปกติเบนซีนไม่มีสีแต่หากมีกลุ่มของอะตอมอื่นๆที่เหมาะสมมาแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมใดอะตอมหนึ่งหรือหลายอะตอมในเบนซีนจะได้สารประกอบที่มีสี สารให้สีอาจจะประกอบด้วยวงเบนซีนวงเดียวหรือมากกว่า ลักษณะและสมบัติของสารให้สีขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลและตำแหน่งที่กลุ่มของอะตอมอื่นๆมาเกาะติดอยู่บนตำแหน่งต่างๆของโครงสร้างนั้นๆการที่สารประกอบดังกล่าวให้สีได้เนื่องจากมีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีมีการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างกลุ่มของอะตอมเหล่านี้เรียกว่าโครโมฟอร์ (chromophors) ได้แก่

หมู่ไนโตร (nitro) ซึ่งมีสูตรเคมี	NO_2
หมู่ไนโตรโซ (nitroso)	$-\text{N}=\text{O}$
หมู่เอโซ (azo)	$-\text{N}=\text{N}$



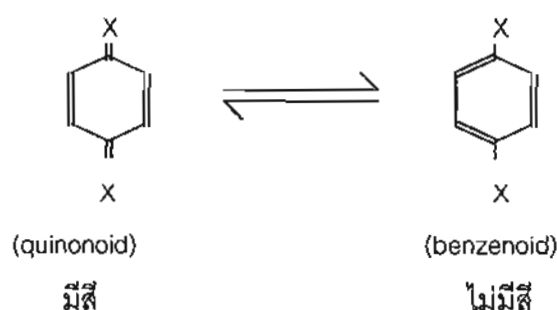
สารประกอบที่มีกลุ่มเหล่านี้เรียกว่า โครโมเจน (chromogen) ซึ่งจะใช้เป็นสีย้อมได้ยังต้องมีกลุ่มของอะตอมอีกจำพวกหนึ่งเรียกว่า อ็อกโซโครม (auxochrome) ซึ่งจะช่วยให้สีเข้มขึ้นและมีสมบัติเป็นกรดหรือด่างเมื่อที่จะได้เกาะติดแน่นบนวัสดุที่ใช้ย้อมหมู่ อ็อกโซโครมที่สำคัญได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) หมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) หมู่อัลคิลอะมิโน (alkyl amino $-\text{NHR}$, $-\text{NR}_2$) หมู่ซัลโฟนิค ($-\text{SO}_3\text{H}$) และหมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) เป็นต้น หมู่ซัลโฟนิคมีความสำคัญมากในการช่วยให้สีย้อมละลายในน้ำได้

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าการที่สารประกอบบางชนิดมีสีเนื่องจากมีโครงสร้างหลักเป็นสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) ซึ่งอยู่ในสภาวะไม่อิ่มตัว (unsaturated condition) คล้ายกับโครงสร้างของควิโนน (quinone) โดยอาจเป็นพาราควิโนนอยด์ (p-quinonoid) หรือ ออร์โทควิโนนอยด์ (o-quinonoid) ดังโครงสร้างข้างล่าง



X คือ กลุ่มของอะตอม

สีย้อมหลายชนิดสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในลักษณะควิโนนอยด์และเบนซีนอยด์และจะสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้หากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป เช่น ตัวทำละลาย ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ว่า ไอโซเมอริกเชน (isomeric chain) แสดงได้ด้วยปฏิกิริยาต่อไปนี้



ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการที่สีย้อมตกสี หรือซีดจางเมื่อได้รับแสง สบู่ ผงซักฟอก และสาเหตุอื่นๆ

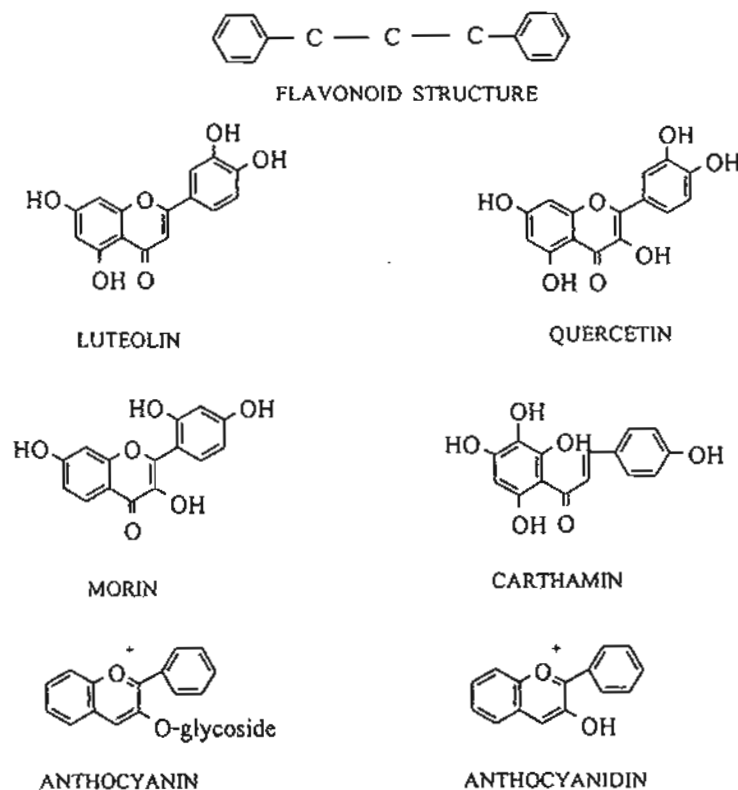
สีย้อมหลายชนิดเมื่อได้รับไฮโดรเจนเข้ามาเติมที่โมเลกุล จะได้สารเคมีที่ไม่มีสีเรียกว่าสารประกอบลิวโก (leuco compound) ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดซ์ (oxidize) จะได้สารเคมีที่มีสี เช่น สีอินดิโก (indigo) ขณะย้อมตอนแรกจะยังไม่มีสีแต่เมื่อนำขึ้นมาจากภาชนะที่ย้อมจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในอากาศได้เป็นสารสีน้ำเงิน เพราะฉะนั้นโครงสร้างของโมเลกุลของสีย้อมมีความสำคัญต่อการเกิดสี ส่วนคุณสมบัติเฉพาะของสีย้อม เช่น ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม การตกสีหรือซีดจาง การเกาะติดบนเส้นใยชนิดต่างๆ และปฏิกิริยาต่อสารเคมีอื่นๆ ขึ้นอยู่กับกลุ่มของอะตอมที่มาเกาะอยู่กับโครงสร้างหลักของโมเลกุล

1.3 สารเคมีในสีธรรมชาติ

สารสีจากธรรมชาติจัดประเภทตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีดังนี้

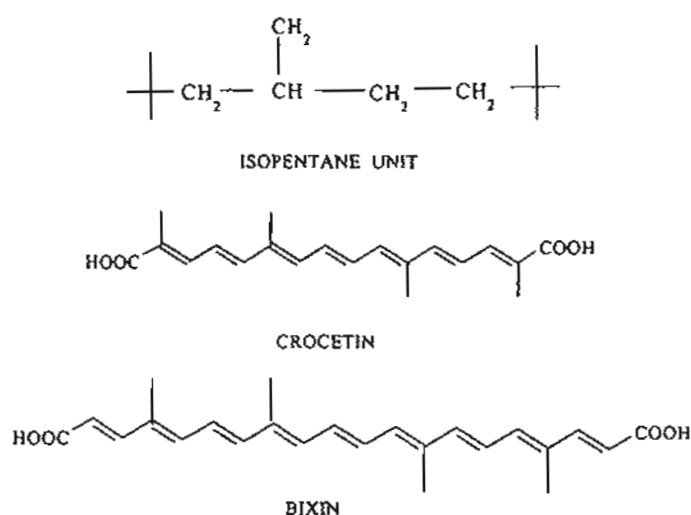
ก. ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นกลุ่มสารให้สีที่ใช้เป็นสีย้อมกันมาก มักมีสีเหลืองถึงส้มเหลือง มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น $C_6-C_3-C_6$ ตัวอย่างเช่น Rutin Quercetin Luteolin ซึ่งให้สีเหลือง (รูปที่ 1.1) ส่วนที่เป็น C_6 ส่วนมากเป็นวงเบนซีนและ C_3 จะต่อกับอะตอมของออกซิเจนเกิดเป็นวงวิวิธพันธ์ (heterocyclic ring) ถ้ามีหมู่คาร์บอนิลอยู่ที่วงวิวิธพันธ์เกิดเป็นสารประกอบฟลาโวน (flavone) และถ้ามีหมู่ไฮดรอกซีอยู่ที่วงวิวิธพันธ์เกิดเป็นสารประกอบฟลาโวนอล (flavonol) สารในกลุ่มนี้จะละลายได้ดีในน้ำมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันมากมาย ทำให้เห็นเป็นทุกสี ยกเว้นสีเขียว เช่นสารพวแกนนโทไซยานินจะให้สีม่วง สีน้ำเงินและสีแดง มักพบในพืชชั้นสูง ในรูปของสารประกอบกลัยโคไซด์ (glycoside) เมื่อสลายตัวด้วยน้ำจะให้น้ำตาล และส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาลเรียกว่า แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ในธรรมชาติมักพบในรูปกลัยโคไซด์ซึ่งมีน้ำตาลมาเกาะที่ตำแหน่ง C_3 หรือ C_5 และยังพบเป็นจำนวนมากที่น้ำตาลมาเกาะทั้งสองตำแหน่งได้เป็น 3,5-diglucosides ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะไม่พบในฟลาโวนอยด์ชนิดอื่นๆ สีแดงในดอกไม้บางชนิดไม่ใช่สารแอนโทไซยานิน แต่เป็นเบต้าไซยานิน (betacyanins) เช่น สีแดงของดอกเฟื่องฟ้า หนอนไก่ บานเย็น และหัวบีทรูต ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Nyctaginaceae, Amaranthaceae และ Centrospermae เป็นต้น สีแดงของแอนโทไซยานินจะมีคุณสมบัติเป็น indicator ในตัวเอง ทั้งนี้เพราะแอนโทไซยานินมีลักษณะเป็นประจุ (ionic) สีที่เกิดขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ในสารละลายที่เป็นกรดแอนโทไซยานินจะให้สีแดงปนส้ม ในสารละลายที่เป็นกลางจะอยู่ในสภาพ pseudobase ซึ่งไม่มีสี ในด่างจะอยู่ในสภาพ anhydrobase ซึ่งให้สีม่วง-น้ำเงิน เมื่อ pH เปลี่ยนปฏิกิริยาเหล่านี้จะเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ แต่ถ้า pH สูงมากๆ ปฏิกิริยาก็จะไม่เปลี่ยนกลับมา แอนโทไซยานินในสารละลายที่เป็นด่างจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยอากาศและถูกทำลาย จึงมักทำให้สารละลายอยู่ในภาวะที่เป็นกรด แอนโทไซยานินชนิดต่างๆ จะต่างกันที่กลุ่ม OH บน ring B ทำให้สีแดงแตกต่างกันที่สำคัญแอนโทไซยานินอาจถูก methylated ที่ตำแหน่ง 3' และ 5' มีผล

ทำให้ความแดงของสีเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามการเติมกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) จะเพิ่มความเป็นสีน้ำเงินมากยิ่งขึ้น ส่วนสารพวกฟลาโวนและฟลาโวนอล จะให้สีเหลืองมักพบในพืชบางชนิดและในกลีบของดอกไม้



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของสารให้สีกลุ่มฟลาโวนอยด์บางชนิด

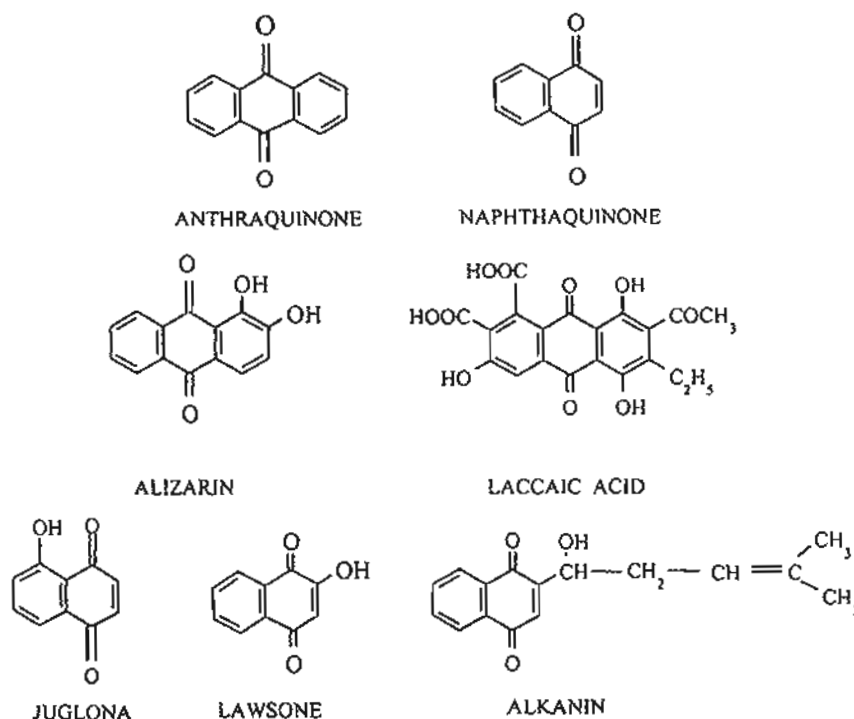
ข. คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นสารประกอบลิพิดชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เทอร์ปีน (terpene) เมื่อมีออกซิเจนในโมเลกุลด้วยเรียก เทอร์ปีนอยด์ (terpenoid) หรือ ไอโซปีนอยด์ (isopenoid) สารในกลุ่มนี้มีชีวสังเคราะห์มาจากหน่วยไอโซเพนเทน (isopentane unit, C_5) เช่น crocetin จากหญ้า ฝักรัน (saffron) มีสีเหลือง บิกซิน (Bixin) จากเมล็ดคำแสดให้สีส้ม-แดง สารในกลุ่มนี้จะมีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวมาก (รูปที่ 1.2) บิกซินเป็นผลึกสีน้ำตาลแดง ค่อนข้างคงตัวต่อแสง ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ต่อกกรดและด่างรวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ สารประกอบคาโรทีนอยด์อีกชนิดหนึ่งคือ β -carotene ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้เป็นครั้งแรกในระดับอุตสาหกรรมเป็นสารที่มีคุณค่าทางอาหารเนื่องจากเอนไซม์ในตับจะเปลี่ยนเบต้า-คาโรทีนเป็นวิตามินเอ เบต้า-คาโรทีนเป็นสารที่มีผลึกสีม่วงปนแดงไม่ละลายน้ำ เอทานอล กลีเซอริน ละลายได้น้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ ไม่คงตัวต่อแสง อากาศ แสง และอนุมูลอิสระสูงๆ ประมาณ 45°C จะถูกทำลายภายใน 6 สัปดาห์ ส่วน lycopene เป็น เตตระเทอร์ปีน (tetraterpene) ที่มีสีแดง



รูปที่ 1.2 โครงสร้างสารให้สีกลุ่มคาโรทีนอยด์บางชนิด

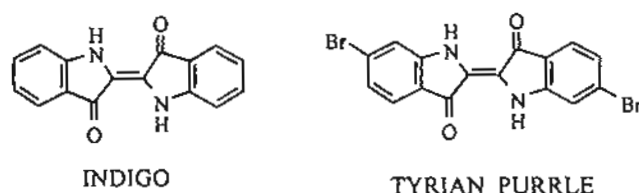
ค. แอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน (Anthraquinones and Naphthraquinones)

สร้างพื้นฐานประกอบด้วย 3-ring system เป็นสารที่มีสีแดง-ส้ม แต่อาจพบสารในกลุ่มนี้มักจะทำให้สีแดง ในกลุ่มสารพวกแอนทราควิโนนที่นำมาใช้เป็นสีย้อม ได้แก่ alizarin จากรากต้นไม้จำพวกเข็ม (madder) และจากแก่นของต้นยอ กรดแลคเคอิก (Laccaic acid) ได้จากครั่ง ส่วนพวกแนพทราควิโนนจากเปลือกมันฮ่อให้สีเขียวถึงน้ำตาล Lawsone จากใบเทียนกิ่งให้สีน้ำตาลปนแดงและ Alkanin จากต้น alkanet ให้สีแดง (รูปที่ 1.3) สารกลุ่มแอนทราควิโนนมีสูตรโครงสร้างได้ตั้งแต่สี่เหลี่ยม - น้ำตาล แอนทราควิโนนละลายได้ดีในน้ำด่างให้สีชมพู-แดง ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล เบนซีน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม สารแอนทราควิโนนเกือบทุกตัวมีจุดหลอมเหลวสูง ที่พบในพืชชั้นสูงส่วนใหญ่จะถูก hydroxylate ที่ C-1 และ C-2 ในธรรมชาติจะพบแอนทราควิโนนในรูปของ กลัยโคไซด์เป็นส่วนใหญ่และมักพบเป็นชนิด O-glycoside ส่วนน้อยที่พบเป็น C-glycoside เช่น aloin (barbaloin) น้ำตาลที่พบส่วนมากเป็น glucose, primeverose อาจพบ rhamnose ได้บ้าง แอนทราควิโนนกลัยโคไซด์ที่พบอาจจะมี aglycone เป็น reduced form ของแอนทราควิโนนได้อนุพันธ์ของแอนทราควิโนน ซึ่งพบได้หลายแบบทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับอายุของพืชเช่นใน common rhubarb ในใบอ่อนจะพบ anthranol glycoside เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่เป็นราพวก *Monascus purpureus* สามารถผลิตสารสีแดงในกลุ่มแอนทราควิโนนได้และใช้เป็นสีย้อมอาหาร เช่น หมูแดง เต้าหู้ยี้ เหล้าไวน์ เป็นต้น



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของสารให้สีพวกแอนทราควิโนนและแนพทราควิโนน

ง. อัลคาลอยด์ (Alkaloids) อัลคาลอยด์เป็นสารกลุ่มที่พบในพืชชั้นสูง พบบ้างในพืชชั้นต่ำ ในสัตว์และในจุลินทรีย์ เป็นกลุ่มสารที่นำมาใช้มากเพื่อเป็นยารักษาโรคและมีจำนวนไม่น้อยที่เป็นสารพิษ ปัจจุบันพบอัลคาลอยด์มากกว่า 5,000 ชนิด ตามปกติในโมเลกุลของอัลคาลอยด์จะพบไนโตรเจนอยู่ 1 ตัว แม้นไนโตรเจนจะอยู่ใน heterocyclic ring หรืออยู่ใน side chain ก็ตาม จะทำให้อัลคาลอยด์มีคุณสมบัติเป็นด่าง ไนโตรเจนดังกล่าวอาจจะอยู่ในรูปของ primary amine ($R_3N^+X^-$), amine oxide และยังอาจพบอยู่ในรูปของ amide และ imide อีกด้วย อัลคาลอยด์แต่ละชนิดจะมีความเป็นกรดต่างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของไนโตรเจนในโมเลกุล ประเภทของ amine group ตลอดจน ชนิดและจำนวนของ functional group ที่มีอยู่ในโมเลกุลนั้น สารกลุ่มอัลคาลอยด์ที่ใช้เป็นสีย้อมได้แก่ Indigo สีย้อมสีน้ำเงิน สีย้อมให้สีน้ำเงิน Tyrian เป็นสีที่สกัดได้จากหอยสังข์ห่นาม (shellfish) อยู่ตามแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนจะให้สีม่วงแดง (รูปที่ 1.4)

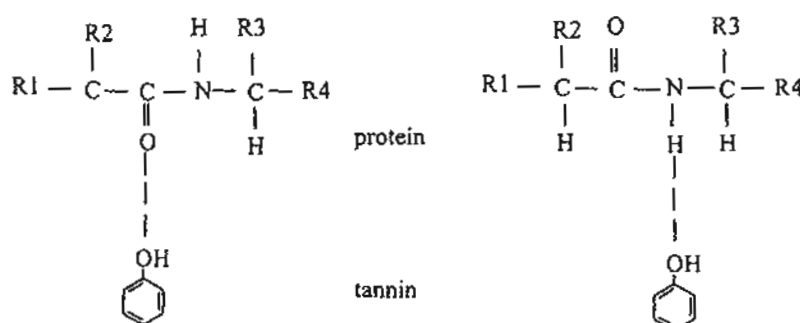


รูปที่ 1.4 โครงสร้างของสารให้สีในกลุ่มอัลคาลอยด์บางชนิด

จ. แทนนิน (Tannin) เป็นสารให้สีธรรมชาติที่นิยมใช้เป็นสารช่วยติดสีอื่นๆ ด้วยในการย้อมสีธรรมชาติโดยเฉพาะการย้อมผ้า แทนนินเป็นสารจำพวกสารประกอบพอลิฟีนอลิกและเป็นกลุ่มสารที่พบได้ทั่วไปในพืชเกือบทุกชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500-3,000 และมีหมู่ฟีนอลิกที่อิสระอยู่จำพวกหนึ่งซึ่งสามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้กับพวกโปรตีน (รูปที่ 1.5) และพวกโพลิเมอร์ ทางชีวภาพ (biopolymer) เช่น เซลลูโลสได้อย่างคงตัวจะเห็นได้ว่าแทนนินมีโครงสร้างซับซ้อนและมีโมเลกุลใหญ่จึงแยกได้ยากเนื่องจากไม่แตกผลึกส่วนใหญ่พบอยู่ในรูปของกลัยโคไซด์ (glycoside) แทนนินละลายได้ในน้ำ สารละลายต่างเจือจาง แอลกอฮอล์ อะซิโตน สารละลายของแทนนินสามารถตกตะกอนโลหะหนัก อัลคาลอยด์ กลัยโคไซด์ โปรตีนและเจลลาตินได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือของเหล็ก เช่น เฟอริกคลอไรด์ แทนนินชนิดสลายตัวได้จะให้ตะกอนสีน้ำเงิน-ดำ ส่วนแทนนินชนิดรวมตัวแน่นจะให้ตะกอนสีน้ำตาลเขียวจึงใช้ปฏิกิริยานี้ตรวจสอบชนิดของแทนนินในสารสกัดจากพืชได้ จากลักษณะโครงสร้างทางเคมีสามารถแบ่งแทนนินได้ 2 ประเภทคือ

จ1. Hydorlysable tannin เป็นกลุ่มสารประกอบ polyester ซึ่งเกิดจาก polyphenol กับน้ำตาลกลูโคสซึ่งแทนนินประเภทนี้สามารถถูกเอนไซม์และกรดไฮโดรไลซ์ออกเป็นโมเลกุลได้ gallic acid, digallic acid, ellagic acid เช่น Gallotannin และ Ellagitannin เป็นต้น

จ2. Condensed tannin เป็นกลุ่มสารประกอบที่เมื่อถูกกรดหรือเอนไซม์แล้วไม่สลายตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ แต่กลับรวมตัวเป็นโพลิเมอร์เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำไม่มีรูปร่างแน่นอนและมีสีแดงซึ่งจะประกอบไปด้วยโพลิเมอร์ของ flavan-3-ol และ flavan-3,4-diols



รูปที่ 1.5 การเชื่อมโยงระหว่างโปรตีนกับแทนนิน

นอกจากจะแบ่งแทนนินตามลักษณะโครงสร้างแล้วยังสามารถแบ่งตามน้ำหนักโมเลกุลของแทนนินซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ True tannin มีน้ำหนักโมเลกุล 1,000-5,000 และ Pseudo tannin มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า True tannin แต่เป็นสารที่ให้คุณสมบัติคล้าย True tannin ได้แก่ catechin, chlorogenic acid เป็นต้น

1.4 การวิเคราะห์สารสีธรรมชาติ

1.4.1 การแยกบริสุทธิ์

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีตรวจสอบปริมาณสารให้สีแต่ละชนิดที่มีในพืชแต่ละชนิดตลอดจนสมบัติของสารให้สีดังกล่าวจำเป็นต้องทำการแยกให้บริสุทธิ์เสียก่อน สำหรับสารให้สีธรรมชาติขั้นตอนการแยกบริสุทธิ์ไม่ยุ่งยากและวิธีที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

1.4.1.1 โครมาโทกราฟีผิบบาง (Thin-layer Chromatography, TLC)

เป็นการแยกสารโดยใช้ stationary phase ซึ่งแผ่นเป็นแผ่นเคลือบบน support ซึ่งอาจเป็นแก้ว aluminium หรือ polyethylene เมื่อหยดสารผสมลงบน stationary phase ซึ่งเรียกว่า development ขณะที่เกิด development สารก็จะแยกออกจากกัน กลวิธีในการแยกจะมีทั้ง adsorption และ partition แต่จะมีวิธีใดมากกว่าขึ้นกับว่าแผ่น TLC ที่เตรียมขึ้นนั้นถูกนำไป activate หรือไม่ การ activate แผ่น TLC โดยอบที่ 110°C เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จะทำให้น้ำระเหยออกไปจาก particle ของ adsorbent ทำให้กลวิธีเป็น adsorption มากกว่า partition แต่ถ้าไม่ได้นำ plate ไป activate น้ำที่จับอยู่ที่ particle จะทำหน้าที่เป็น liquid stationary phase จะมี partition mechanism เกิดมากกว่าเดิม น้ำที่เคลือบอยู่นี้มาจากความชื้นในอากาศนั่นเอง TLC ที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่

ก. Microscopic slide TLC เป็น TLC ขนาดเล็กใช้แผ่น microscopic slide ใช้แยกสารโดยใช้เวลาสั้น เช่น แยกสาร 4 ชนิด ในเวลา 5 นาที เตรียมง่าย ไม่ต้อง activate โดยมากใช้ทาง qualitative เช่น ตรวจ synthetic reaction หรือตรวจ fraction ของ column chromatography ที่มีสารไม่มากชนิดนัก

ข. Macro-layer TLC เป็น TLC ที่ใช้ทั่วไปและมีขายสำเร็จรูป มีขนาด 5×20 , 10×20 , 20×20 เซนติเมตร ความหนาของ adsorbent = 0.25 มิลลิเมตร ใช้ทั้ง qualitative และ quantitative

ค. Preparative TLC เป็น TLC ที่มี adsorbent หนาขึ้นถึง 2 มิลลิเมตร ใช้เมื่อแยกสารปริมาณมากขึ้น เช่นเดียวกับ Macro-layer TLC

1.4.1.2 คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Column Chromatography)

เทคนิคของโครมาโทกราฟีชนิดนี้ก็คือ ใส่ตัวทำละลายลงในหลอดรูปทรงกระบอกโดยปกติจะทำด้วยแก้วมีปลายด้านล่างเปิดและปิดได้ สารที่ใช้เป็นวัฏภาคคงที่อาจเป็นตัวดูดซับ (ในกรณีของโครมาโทกราฟีแบบดูดซับ) หรือเป็นของเหลวแผ่นบางๆ ที่เคลือบอยู่บนสารเฉื่อย (ในกรณีของโครมาโทกราฟีแบบแบ่งแยก) สำหรับการเตรียมคอลัมน์นั้นทำได้โดยการกรอกสารที่ใช้เป็นตัวดูดซับแห้ง ๆ ลงไปเลย หรือจะเตรียมโดยเอาตัวดูดซับนี้ผสมกับตัวทำละลายก่อน แล้วจึงใส่ลงในหลอดรูปทรงกระบอก ถ้าหากทำโดยวิธีแรกจะต้องเติมตัวทำละลายที่จะใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ลงไปและจะต้องให้ตัวทำละลายนี้สัมผัสกับตัวดูดซับอย่างทั่วถึง นั่นคือจะต้องไม่มีฟองอากาศอยู่ระหว่างตัวดูดซับและปรับระดับของตัวทำละลายให้อยู่เหนือตัวดูดซับเล็กน้อย แล้วจึงค่อยๆ เติมสารผสมที่ต้องการแยกลง

ไป (สารผสมนี้จะต้องละลายในตัวทำละลายที่ปริมาณน้อยที่สุด) หลังจากนั้นเติมตัวทำละลายที่จะใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ละน้อยของเหลวนี้จะไหลผ่านคอลัมน์และรองรับที่ปลายล่างของคอลัมน์ โดยทั่วไปจะใช้ตัวทำละลายที่มีโพลาไรตี (polarity) สูงขึ้น ถ้าหากเลือกสารตัวดูดซับและตัวทำละลายได้เหมาะสมก็จะสามารถแยกสารแต่ละชนิดให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกันถ้าหากสารนั้นมีสีก็จะปรากฏให้เห็นเป็นแถบสีและเมื่อเติมตัวทำละลายไปเรื่อยๆ สารแต่ละชนิดก็จะผ่านออกจากคอลัมน์ ในเวลาแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมให้สารต่างๆ แยกกันอยู่ในคอลัมน์แล้วหยุดเติมตัวทำละลายปล่อยให้ตัวทำละลายนี้ผ่านคอลัมน์จนหมด แล้วตัดคอลัมน์เป็นส่วนๆ ตามแถบของสารแต่ละชนิด ดันเอาตัวดูดซับออกจากคอลัมน์แล้วสกัดด้วยตัวทำละลาย หลังจากนั้นจึงระเหยเอาตัวทำละลายออกไป ก็จะได้สารแต่ละชนิด ตรวจสอบความบริสุทธิ์โดยการทำให้ TLC ที่ใช้ตัวชะแตกต่างกันหลายๆ ตัวชะ ถ้าสารบริสุทธิ์จะไม่มีตัวชะแบบใดแยกสารออกจากกันได้อีก หากยังไม่บริสุทธิ์จะทำการแยกซ้ำในคอลัมน์เดิมหรือทำการตกผลึกช่วย

1.4.2 การวิเคราะห์

1.4.2.1 การวิเคราะห์กลุ่มสารให้สีโดยปฏิกิริยาเคมี

การศึกษาโดยอาศัยการตรวจสอบสารเคมี วิธีนี้อาศัยข้อมูลเบื้องต้นเพื่อจัดกลุ่มสารให้สีที่มีโครงสร้างหลักแบบเดียวกัน ซึ่งได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน เป็นต้น นำพืชต่างๆ มาตรวจสอบว่าสารให้สีจัดอยู่ในกลุ่มใดดังกล่าวข้างต้น พืชใดที่มีสารให้สีกลุ่มที่ตรวจสอบมากก็จัดเป็นพืชที่ควรนำมาสกัดแยกต่อจนได้สารบริสุทธิ์ แล้วจึงนำไปตรวจสอบสมบัติและโครงสร้างทางเคมี วิธีการตรวจสอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดในพืช อาจทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีง่ายๆ ซึ่งจะให้ผลเป็นสีต่างๆ หรือการเกิดตะกอนต่างๆ ได้มีผู้ใช้น้ำยาเคมีต่างๆ โดยเฉพาะกรดเข้มข้นในการทำปฏิกิริยากับสารสกัด

1.4.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีทางสเปกโตรสโคปี (spectroscopy)

เป็นวิธีหาสูตรโครงสร้างโดยอาศัยการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งถูกสารดูดกลืน (absorb) หรือ เปล่ง (emit) ออกจากสาร โดยอาศัยเครื่องมือต่างๆ ที่ทำหน้าที่ให้กำเนิดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า แยกวัดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็นช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กัน วัดการดูดกลืนรังสีในช่วงเหล่านี้โดยสาร และบันทึกข้อมูลออกมาเป็น spectrum ซึ่งสารจากธรรมชาติแต่ละชนิดมี spectrum ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารซึ่งมีผู้ศึกษาสูตรโครงสร้างแล้วอาจทำได้โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่รู้โครงสร้าง (authentic sample) หรือเปรียบเทียบกับ spectrum ที่รายงานไว้ในเอกสารต่างๆ สำหรับสารใหม่ต้องอาศัย spectrum มาประกอบกันจึงจะสามารถบอกสูตรโครงสร้างได้

ก. Ultraviolet and visible Spectroscopy

เป็นวิธีการวัดการดูดกลืนแสงของสารในสารละลายที่เจือจาง ในช่วงความยาวคลื่น 200- 700 นาโนเมตร สำหรับสารที่มีสีวัดที่ 200-700 นาโนเมตร ส่วนสารที่ไม่มีสีวัดที่ 200-400

นาโนเมตร สิ่งสำคัญในการตรวจเอกลักษณ์คือ ความยาวคลื่น (wave length) ที่มีการดูดกลืนสูงสุด หรือต่ำสุดของสารและความเข้มข้นของการดูดกลืน นอกจากวัดการดูดกลืนในสารละลายที่เป็นกลางแล้ว ยังดูผลการเปลี่ยนแปลง pH ต่อการดูดกลืนแสงของสารว่าจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ เช่น phenolic compound เมื่อใส่ด่าง ความยาวคลื่นที่สารดูดกลืนแสงจะเคลื่อนไปอยู่ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Bathochromic shift ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้ถ้าเป็นลักษณะการเปลี่ยนไปดูดกลืนสารในช่วงความยาวคลื่นสั้นลงเรียกว่า hypochromic shift สารบางชนิดจะไม่ดูดกลืนแสงเลย

ข. Infrared Spectroscopy

เป็นการวัดพลังงานที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุล พันธะ หรือ functional group ช่วงที่วัดมีความถี่ $4,000-677\text{ cm}^{-1}$ หรือช่วงคลื่น $2.5-15\text{ nm}$ เราใช้ตำแหน่งของ spectrum และความเข้มข้นของ peak ว่ามากน้อยหรือปานกลางเทียบกับ spectrum ของสารที่รู้สูตรโครงสร้างจาก IR spectrum จะช่วยบอก functional group และประเภทของสารได้ บริเวณเหนือ $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็น band หรือ peak ที่เกิดจากการสั่นของ individual bonds หรือ functional groups เช่น aromatic พบที่ $3,050\text{ (W-M)}$, $2,100$, $1,700\text{ (W)}$, $1,600$, $1,580$, $1,600\text{ (W-M)}$ ส่วนบริเวณที่ต่ำกว่า $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็น fingerprint region เกิดจากการสั่นของทั้งโมเลกุล เป็น spectrum ที่ซับซ้อนสารที่จะนำไปทำการ IR spectrum จะต้องเป็นสารที่บริสุทธิ์ อาจใช้สารละลาย $0.1-5\%$ โดยมากใช้คลอโรฟอร์ม หรือใช้ของแข็งผสมกับ KBr แล้วอัดเป็นแผ่นใส หรือ ใช้ Nujal ทำให้เป็น suspension หรือ mull

ค. Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

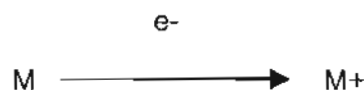
เป็น spectrum ที่ได้จากการวัด magnetic moment ของ H-atom เนื่องจาก H-atom ที่ติดอยู่กับ functional group แต่ละอันจะมีค่า magnetic moment แตกต่างกัน เช่น CH_2 , CH_3 , $-\text{CHO}$, $-\text{NH}_2$ เป็นต้น จาก spectrum ของ NMR จะได้ค่าของจำนวน H และชนิดของ carbon skeleton ที่ H จับอยู่ ตำแหน่งของ spectrum ใช้ค่า δ (delta) หรือ τ (tau)

$$\tau = 10\delta$$

ตัวทำละลายที่ใช้ละลาย sample ได้ CCl_4 , deuterium chloroform (CDCl_3), deuterium oxide (D_2O), deuterium acetone (CD_3COCD_3) ส่วนสารที่มีตัวให้ trimethylsilylene, เป็นตัวทำละลายพวกสารที่เป็น saturated compound จะมีค่าน้อยส่วนพวกที่มี unsaturation, O, N, S จะมีค่าสูง Chemical shifts (δ) จะมีค่า $= \Delta\nu \times 10^6 / \text{radian frequency}$, $\Delta\nu$ = difference in absorption frequency ของ sample และ reference compound คือ TMS มีหน่วยเป็น Hertz หน่วยของ chemical shift ส่วนมากใช้ p.p.m. spectrum ของ NMR อาจซับซ้อนเนื่องจาก interaction กับ atom ข้างเคียงแทนที่จะได้ peak เดียว อาจจะได้ 2 หรือ 3 หรือ มากกว่า

ง. Mass spectroscopy (MS)

เป็น spectrum ที่ได้จากการระเหย sample เข้าไปใน low pressure system ของ MS ซึ่งสารจะถูก ionized เกิดการแตกตัวของพันธะได้ไอออนที่มีประจุบวก (positively charged ion) ซึ่งจะถูกร่ง (accelerated) ในสนามแม่เหล็กและการกระจายตัว (disperse) ทำให้สามารถวัดปริมาณ ion สัมพัทธ์ (Relative abundance) ได้เป็น mass/charge MS จะช่วยในการหาน้ำหนักโมเลกุล โดยที่ใช้ค่า molecular ion ซึ่งเป็น ion ที่เกิดจาก ionize ทำให้ electron หลุดไป 1 ตัว



ในการหาสูตรโครงสร้างอาศัย fragment ที่ได้จากการแตกตัวว่ามีที่ m/e เท่าไหร่ แล้วนำแต่ละ fragment มาต่อกันและอาศัย spectroscopy อื่น ก็ช่วยให้หาสูตรโครงสร้างได้ สารบางชนิดไม่ระเหย จำเป็นต้องทำ trimethylsilyl ethers หรือ methyl ester derivatives ก่อน

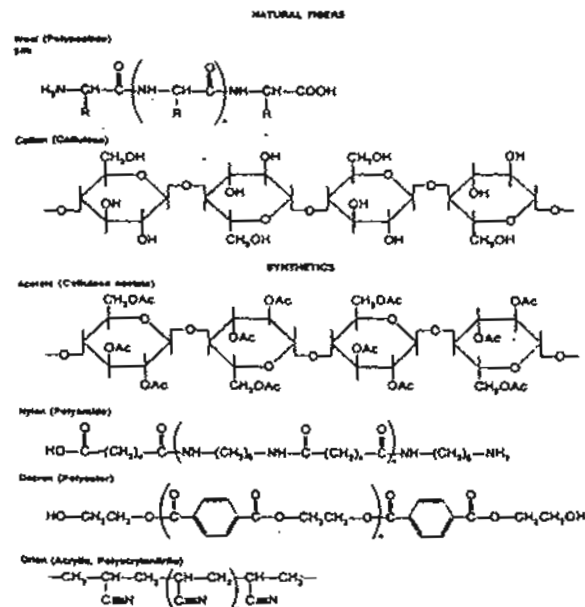
1.5 การย้อมด้วยสีธรรมชาติ

องค์ประกอบสำคัญของการย้อมสีธรรมชาติที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไป คือ ชนิดของเส้นใยที่จะย้อม สารสีที่ใช้เป็นสีย้อมและกรรมวิธีในการย้อม ซึ่งทั้งสามส่วนนี้ได้มีการพัฒนามาตลอดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีคุณภาพดี มีสีสม่ำเสมอและมีความคงทน มีการค้นพบสีใหม่ๆ และเทคนิคการย้อมใหม่ๆ อยู่เสมอโดยเฉพาะการย้อมด้วยสีธรรมชาติในปัจจุบันได้ถูกดัดแปลงและพัฒนามากขึ้นโดยใช้เทคนิคใหม่ๆ อย่างไรก็ตามคุณภาพในด้านความคงทนต่อการซัก แสง ความเสถียรของสียังด้อยกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ ยังขาดเทคนิคที่แน่นอนในการสกัดสารสีและการย้อมสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการย้อมมากกว่าการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ ยังต้องมีการพัฒนาทางด้านนี้อย่างต่อเนื่องโดยพิจารณาจากสิ่งสำคัญของกระบวนการย้อมตามลำดับคือ

1.5.1 ชนิดของเส้นใย เป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกของการย้อมสีเพราะการที่จะเข้าใจถึงกลไกการยึดติดระหว่างโมเลกุลของสีกับเส้นใยได้นั้นจะต้องทราบถึงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยด้วยนอกเหนือจากการทราบโครงสร้างของสารสีที่ใช้ย้อม เส้นใยอาจจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 1.6)

1.5.1.1 เส้นใยธรรมชาติ ได้จากแหล่งธรรมชาติโดยตรงได้แก่ เส้นใยจากสัตว์ มีลักษณะโครงสร้างเป็นพอลิเปปไทด์ (polypeptide) เช่น ไหมและขนสัตว์ต่างๆ เส้นใยจากพืช ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช มีลักษณะโครงสร้างเป็นเซลลูโลส เช่น ฝ้าย ลินิน ป่านและปอ นอกจากนี้ยังมี เส้นใยจากสินแร่ หรือสารประกอบอนินทรีย์ได้แก่ โยแก้ว เส้นใยจากธรรมชาติที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอคือเส้นใยจากสัตว์และพืช

1.5.1.2 เส้นใยสังเคราะห์ เป็นเส้นใยที่ได้จากการสังเคราะห์หรือนำเส้นใยธรรมชาติมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อให้มีสมบัติแตกต่างออกไปเส้นใยสังเคราะห์มีหลายชนิด ได้แก่ พอลิเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิก เป็นต้น



รูปที่ 1.6 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์

เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดสามารถย่อยสลายธรรมชาติได้แต่เปอร์เซ็นต์การดูดติดจะแตกต่างกันมาก โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้เส้นใยประเภทไหม ขนสัตว์ และฝ้ายในการย้อมสีธรรมชาติและมีการศึกษาสมบัติของเส้นใยต่างๆอย่างละเอียด เช่น เส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วยหน่วยโมเลกุลของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวเซลลูโลสจากพืชแต่ละชนิดจะมีความยาวของสายกลูโคสไม่เท่ากันซึ่งความยาวของเส้นใยเซลลูโลสนี้เป็นปัจจัยของความแข็งแรงของเส้นใย ความยาวของเซลลูโลสจากต้น Pine มีความยาว 700-800 หน่วยกลูโคส สมบัติโดยทั่วไปสำหรับเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิดคือ ดูดซับได้ดีเมื่อใช้เป็นเครื่องนุ่งห่มเหมาะสำหรับซับเหงื่อในฤดูร้อนและเหมาะสำหรับทำเป็นผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า และผ้าสำหรับใช้ในการดูดซับอื่นๆ นำความร้อนได้ดีเมื่อใช้เป็นผ้าสวมใส่ในฤดูร้อนจะเย็นสบาย นอกจากนี้ ยังคงทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆทำให้ความสามารถนำผ้าฝ้ายไปต้มหรือหนึ่งฆ่าเชื้อและไม่ต้องการความระมัดระวังเป็นพิเศษในการรีด ข้อด้อยของผ้าฝ้ายอันเนื่องมาจากสมบัติของใยเซลลูโลสคือ ยับง่าย มีความหนาแน่นสูงทำให้ผ้าฝ้ายมีน้ำหนักมากกว่าผ้าชนิดอื่นๆไม่ทนกรด เมื่อขึ้นเชื้อราขึ้นง่าย เซลลูโลสเป็นสารติดไฟได้ผ้าฝ้ายเมื่อถูกเปลวไฟจะติดไฟได้ง่ายเป็นต้น

การเตรียมเส้นใยหรือสิ่งทอสำหรับการย้อมสีนั้นเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการย้อมสีเป็นการนำด้ายหรือผ้าดิบที่ออกจากโรงปั่นหรือโรงทอมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมด้ายหรือผ้าให้อยู่ในสภาพที่นำไปย้อมสี จุดประสงค์ของการเตรียมดังกล่าวเพื่อขจัดสิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใยตามธรรมชาติเช่น สารขี้ผึ้งในฝ้าย กาวในไหมดิบหรือเศษไม้ในปอ เป็นต้น หรืออาจติดตามในขั้นตอนการปั่นทอหรือถัก เช่น แป้งและสิ่งเจือปนอื่นๆเมื่อถูกขจัดออกไปหมดก่อนการย้อมจะมีการดูดติดสีย้อมได้

อย่างสม่ำเสมอนอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำได้ดีทำให้กระบวนการย้อมมีประสิทธิภาพสูง
สุด ดังนั้นการหาวิธีที่เหมาะสมในการทำความสะดวกสิ่งทอก่อนย้อมมีความจำเป็นเป็นอันดับแรก
และเพื่อให้เส้นใยมีการดูดติดสีย้อมได้มากขึ้น เช่น ในกรณีของผ้าฝ้ายอาจจะต้องมีวิธีการชุบมันซึ่ง
นอกจากจะทำให้ติดสีได้มากขึ้นแล้วยังได้ผ้าฝ้ายที่มีความเงามันเพิ่มขึ้นจากเดิมและสีที่ติดเข้มข้นขึ้นนั้น
มีความสว่างสดใสด้วย

1.5.2 กรรมวิธีในการย้อม

การย้อมด้วยสีธรรมชาติเปรียบเทียบกับ การย้อมสีสังเคราะห์นั้นสามารถแบ่งกรรมวิธีในการ
ย้อมได้ 3 แบบคือ

1.5.2.1 แบบโดยตรง (Direct dyeing) สีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายน้ำ
และมีสมบัติพิเศษในการติดเส้นใยได้เอง โดยเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยได้โดยตรง กรณีที่เส้นใยเป็น
เซลลูโลสเช่น ฝ้าย จะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก (hydroxyl groups, -OH) จึงสามารถเกิดพันธะ
ไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนไหมและขนสัตว์เป็นเส้นใยที่เป็นพวกพอลิเปปไทด์จะมีหมู่
กรด (acidic group, -COOH) และหมู่เบส (basic groups, -NH₂) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาของส่วนที่
เป็นหมู่เบสและหมู่กรดในโมเลกุลของสีตามลำดับเกิดเป็นเกลือขึ้นทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบไอออน
ิก การยึดเหนี่ยวแบบนี้ไม่แข็งแรงดังนั้นการย้อมแบบโดยตรงเป็นวิธีที่ติดสีง่ายแต่ก็หลุดง่ายเช่นเดียว
กัน ความคงทนต่ำและได้สีที่ไม่สดใส ตัวอย่างคือ สีจากขมิ้น ดอกคำฝอย เป็นต้น

1.5.2.2 แบบแวต (Vat dyeing) สารให้สีที่ย้อมวิธีนี้มักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ
ดังนั้นขั้นแรกของการย้อมแบบนี้ต้องทำให้สีนั้นละลายน้ำเสียก่อน ตัวอย่างการย้อมแบบนี้คือ สีอินดิโก
จากครามและย้อมเป็นสารสีน้ำเงินเมื่ออยู่ในรูปออกซิไดซ์และไม่ละลายน้ำแต่เมื่อถูกรีดิวซ์จะละลาย
น้ำได้และเป็นสารละลายไม่มีสีเป็นลิวโคอินดิโก (leucoindigo) ดังนั้นก่อนการย้อมนำสีอินดิโกมา
รีดิวซ์ก่อนเพื่อให้เป็นสารละลายน้ำได้โดยใช้สารรีดิวซ์แล้วจึงนำเส้นใยลงย้อมแล้วนำขึ้นไปผึ่งแดด
ออกซิเจนในอากาศจะทำให้โมเลกุลของสีเกิดการออกซิไดซ์กลับไปอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ โมเลกุล
ของสีจึงถูกกักขังอยู่ในเส้นใยและเนื่องจากอินดิโกนี้ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้การติดสีมีความคงทน ซึ่ง
นิยมใช้ย้อมผ้าฝ้ายและผ้ายืนส์ ในการย้อมสีธรรมชาตินั้นสารธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในสารละลาย
สีย้อมมีหลายชนิดเช่น กรดมะนาว กรดน้ำส้ม หรืออัสคัยจุลินทรีย์ การย้อมในลักษณะนี้สีจะถูก
เปลี่ยนเป็นรูปรีดิวซ์และละลายน้ำย้อมติดบนเส้นใยได้ทีละน้อยซึ่งต้องทำการย้อมหลายๆครั้งจนกว่า
จะได้สีเข้มตามต้องการ สารที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ย้อมอินดิโกสังเคราะห์มักเป็นสารที่
เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การใช้สารธรรมชาติเป็นตัวรีดิวซ์จึงเป็นที่นิยมในการย้อมสีธรรมชาติและมีการ
ศึกษาพัฒนาวิธีการมาโดยตลอด ชาวอินเดียสกัดอินดิโกจากครามโดยการหมักน้ำที่อุณหภูมิห้อง
อัสคัยเอนไซม์ในการไฮโดรไลซ์อินดิแคน น้ำสกัดที่ได้นำมาออกซิไดซ์ในบรรยากาศโดยใช้กรรกวานให้
อากาศ น้ำสกัดจะเปลี่ยนจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นตะกอนสีน้ำเงิน การเติมน้ำต่างในช่วงออกซิเดชัน

จะเกิดปฏิกิริยาดีขึ้น แยกตะกอนมาต้มกับกรดซัลฟิวริกเจือจางตามด้วยน้ำแล้วกรองตะกอนทิ้งลงให้แห้งต้นครามที่ใช้สูงประมาณ 3 ฟุตเมื่อนำมาสกัดจะมีปริมาณสารให้สีสูงสุด 0.4 % ของน้ำหนักต้นครามที่ใช้ การย้อมสารสีที่สกัดจากต้นครามสด โดยการต้มกับน้ำจะได้น้ำย้อมสีเขียวอมฟ้าซึ่งเมื่อย้อมจะได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมเป็นสีเขียวอมฟ้า

1.5.2.3 แบบใช้มอร์แดนท์ (Mordant dyeing) การย้อมแบบนี้ต้องใช้สารช่วยติดสีหรือที่เรียกว่า มอร์แดนท์ เพื่อช่วยให้การยึดติดระหว่างตัวสีกับเส้นใยดีขึ้น ทำให้สีที่ได้จากการย้อมโดยวิธีนี้มีความคงทน ไม่ตกสีหรือซีดง่าย การย้อมวิธีนี้ใช้วิธีการย้อมที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากสีธรรมชาติจะติดสีได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60-100°C และระหว่างการย้อมต้องคนบ่อยๆเพื่อป้องกันการติดสีไม่สม่ำเสมอ สารมอร์แดนท์ที่นิยมใช้คือสารละลายเกลือโลหะและสารประกอบแทนนินจากพืชหลายชนิด เกลือของโลหะที่ใช้กันมาก คือ Alum (Potassium aluminium sulfate, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) หรือสารส้ม Crome (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) ดีบุก (Tin, Stannous chloride, $SnCl_2$) คอปเปอร์รัส (Copperas, Ferrous sulphate, $FeSO_4$), Blue Viriol (Copper sulfate, $CuSO_4$) สีที่ย้อมโดยวิธีนี้เรียกสีมอร์แดนท์ได้แก่ สีจากรากไม้ เปลือกไม้ แก่นไม้ ใบ ดอก ผล เมล็ด เป็นต้น ตัวอย่างเช่นสีจากรากยอป่า เปลือกไม้ฝาง แก่นขนุน ใบยูคาลิปตัส ใบต้วแดง ดอกดาวเรือง เมล็ดคำเงาะหรือคำเสด การย้อมโดยวิธีนี้อาจทำได้ใน 3 ลักษณะคือ

ก. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาแช่สารละลายมอร์แดนท์ก่อนแล้วจึงทำการย้อมสี

(Premordanting)

ข. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาย้อมในสารละลายสีที่ใส่มอร์แดนท์ด้วย

ค. นำเส้นใยที่ต้องการย้อมมาแช่สีก่อนแล้วจึงย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนท์

(After mordanting)

การย้อมทั้ง 3 ลักษณะนี้ได้มีผู้ศึกษาและทดลองย้อมแบบทั้ง ก และ ข ข และ ค ก และ ค ก และ ข และ ค รวมกันโดยใช้มอร์แดนท์ดังกล่าวข้างต้นผลที่ได้ยังไม่พบความแตกต่างในแง่การติดสีเข้มและความคงทนอย่างเด่นชัดมีการทดลองพบว่า การต้มเส้นใยเซลลูโลสในสารละลายมอร์แดนท์ที่ประกอบด้วย สารส้มและโซดาแอชในอัตราส่วน 7 : 1 โดยน้ำหนักเตรียมโดยการค่อยๆเติมสารส้มลงในสารละลายโซดาแอชคนให้เข้ากันแล้วต้มที่ 150°C จะได้เป็นสารละลายมอร์แดนท์ที่มีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์แขวนลอยอยู่ในรูปคอลลอยด์ จากนั้นนำเส้นใยมาใส่และปรับอุณหภูมิเป็น 40 °C ประมาณ 5 นาทีแล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60°C พร้อมกับคน จากนั้นต้มในสารละลายกรดแทนนิกก่อนนำไปย้อมผ้าจะทำให้สีติดทนไม่ตกสี มีข้อดีคือไม่ต้องใช้มอร์แดนท์ที่เป็นเกลือโลหะหนัก ในแง่การติดสีเข้มมีผู้ศึกษาการใช้เอนไซม์เซลลูเลสย่อยเส้นใยเซลลูโลส ย่อยแบ่งโดยแอลฟาอะมิเลสและโปรตีนโดยทริปซินก่อนนำไปย้อมพบว่า เส้นใยติดสีมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ดังกล่าวข้างต้นโดยไม่มีผลกระทบต่อความคงทนของสีและเมื่อเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสที่

ทำ premordanting ด้วยเกลือของโลหะ นักวิจัยชาวญี่ปุ่นทดลองใช้กรดแทนนิกความเข้มข้นต่างๆ ช่วง 0.05-1.0 % เป็นมอร์แดนต์สำหรับเส้นใยชนิดต่างๆ ได้แก่ ไหม ไนลอน ฝ้าย และขนสัตว์ พบว่ากรดแทนนิกจะติดกับผ้าไหมและไนลอนได้มากกว่าติดกับผ้าฝ้ายและขนสัตว์

เส้นใยที่เป็นโปรตีนเช่น ขนสัตว์ ไหม จะจับสีจากโคชินีล (Cochineal) ซึ่งเป็นสีแดงส้มจากตัวแมลงตากแห้ง *Coccus cacti* จากแม็กซิโกได้ดีกว่าเส้นใยเซลลูโลส ดังนั้นจึงจำเป็นนอกเหนือจากการทำ mordanting ฝ้ายก่อนย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับสีย้อม คือการเตรียมฝ้ายให้มีความชอบจับกับสีย้อมได้ดี มีการทดลองเตรียมผ้าฝ้ายและเส้นใยสังเคราะห์ด้วยการดัดแปรโปรตีน 3 ชนิดคือ เจลาติน โปรตีนจากถั่วเหลือง และอีโมโกลบินจากวัว และกรดอะมิโน 5 ชนิด ได้แก่ L-asparagine, L-glutamic acid, L-proline, L-arginine และ L-lysine พบว่า เส้นใยเซลลูโลสจะสามารถจับกับสีมากขึ้นตามความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้อย่างเจลาตินแต่เส้นใยเซลลูโลสที่เตรียมโดยใช้กรดอะมิโนจะมีความชอบจับกับสีย้อมได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดลองสรุปได้ว่าการดูดซับสีของเส้นใยเซลลูโลสจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่ติดบนเส้นใย ผลการทดลองนี้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ที่จะนำไปพัฒนาการย้อมเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยสังเคราะห์ด้วยสีธรรมชาติจากพืชชนิดต่างๆ ให้ติดสีเข้มและมีความคงทน

1.5.3 ความคงทนของผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ

ความคงทนของสีย้อมต่อการซักและต่อแสงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นเครื่องใช้หรือเสื้อผ้าจะต้องผ่านการซักล้างบ่อยครั้ง ถ้าเลือกสีย้อมและกรรมวิธีการย้อมไม่เหมาะสมมีความคงทนต่อการซักไม่ดีพอจะทำให้สีเปลี่ยนไป ตกซีดจางและเปื้อนติดสีบนผ้าอื่นก่อนที่จะหมดอายุการใช้งานของผ้าเป็นการสร้างปัญหาให้แก่ผู้ใช้สำหรับความคงทนต่อแสงนั้น แสงสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับสีย้อมได้และโอกาสที่เครื่องใช้หรือเสื้อผ้าจะถูกกับแสงแดดแรงๆจะมีมากโดยเฉพาะประเทศเมืองร้อน ดังนั้นถ้าเลือกใช้สีย้อมที่มีความคงทนต่อแสงไม่ดีพอก็จะทำให้สีของผ้าซีดจางหรือเปลี่ยนสีเร็วก่อนหมดอายุการใช้งานของเนื้อผ้า ดังนั้นการที่จะเลือกสีย้อมและพัฒนาการย้อมให้เหมาะสมผู้ย้อมจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงทนต่อการซักและแสงของสีย้อมตลอดจนวิธีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ได้

1.5.3.1 ความคงทนของสีย้อมต่อการซัก

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความคงทนของสีย้อมต่อการซักได้แก่ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใย กรรมวิธีการย้อม ขั้นตอนการซักล้างและการย้อมทับภายหลังการย้อม

เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีหลายประเภททั้งเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมีความแตกต่างกันภายในโครงสร้างของเส้นใยและสีย้อมมีการเกาะติดในเส้นใยอย่างดียากแก่การ

หลุดออกมาในระหว่างการชักล้าง ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใยอาจเกิดได้ใน 3 ลักษณะ คือ อาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพ อาศัยการเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยและการเกาะติดด้วยการกักขังสีย้อมในเส้นใย

การเกาะติดของสีย้อมโดยอาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพ 2 ประเภท คือ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มเคมีที่มีประจุต่างกันเกิดกับเส้นใยประเภทโปรตีน ในลอนที่ย้อมด้วยสีแอซิดและเบสิก แรงดึงดูดประเภทที่สองคือ แรงวันเดอร์วาล (Van der Waals forces) ซึ่งเกิดขึ้นได้กับสีย้อมและเส้นใยทุกประเภทนี้จะเกิดขึ้นได้ เมื่อโมเลกุลของสีย้อมและเส้นใยเข้ามาอยู่ใกล้กันมาก กำลังแรงดึงดูดจะขึ้นอยู่กับขนาดและพื้นที่สัมผัสซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล ถ้าโมเลกุลใหญ่กำลังแรงดึงดูดประเภทนี้จะมามาก นอกจากนี้การกระจายของอิเล็กตรอนที่ไม่สมดุลจะเกิดแหล่งประจุบวกและลบที่ถาวรบนโมเลกุลของสารที่สามารถเกิดแรงดึงดูดกับประจุใกล้เคียงได้ แรงดึงดูดอีกแบบที่เกิดกับสีย้อมและเส้นใยทุกประเภทคือ การเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดขึ้นกับสารที่มีไฮโดรเจนอะตอมอยู่ติดกับอะตอมที่มี electronegativity สูงเช่น O, N และ halogen ในลักษณะเช่นนี้ไฮโดรเจนจะมีประจุบวกที่ถาวรและมีกำลังค่อนข้างแรงมากเกิดแรงดึงดูดกับแหล่งประจุลบของโมเลกุลข้างเคียงได้และมีกำลังแรงกว่าแรงดึงดูดทางกายภาพข้างต้น สีย้อมที่มีลักษณะการเกาะติดในเส้นใยโดยอาศัยแรงดึงดูดทางกายภาพดังกล่าวเป็นสำคัญได้แก่ สีแอซิด สีเบสิกและสีไดเร็กต์ จะมีความคงทนต่อการซักในช่วงต่ำมากถึงดีพอใช้เพราะแรงดึงดูดทางกายภาพมีไม่มากและเป็นแรงที่อ่อนสามารถถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนและการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเบสของสารละลาย

การเกาะติดโดยอาศัยการเกิดพันธะเคมีแบบโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างสีย้อมกับเส้นใย เช่นในกรณีที่ย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีรีแอคทีฟโดยโมเลกุลของสีย้อมจะประกอบด้วยกลุ่มเคมีที่ไวต่อปฏิกิริยาซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลสโดยการเกิดพันธะโควาเลนต์กับกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใย และพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นเป็นพันธะที่มีพลังงานสูงแข็งแรงทำให้ยากต่อการถูกทำลายดังนั้นสีย้อมจะมีความคงทนต่อการซักสูงมาก

การเกาะติดโดยการกักขังสีย้อมภายในเส้นใยเพื่อให้มีความคงทนต่อการซักสูงทำได้ 2 วิธี คือ ในระหว่างการย้อมจะเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลในเส้นใยให้ใหญ่เป็นพิเศษซึ่งส่วนมากจะใช้ความร้อน จากนั้นจะให้สีย้อมแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างดังกล่าว ภายหลังการย้อมจะปิดช่องว่างนั้นลงทำให้สีย้อมถูกขังในเส้นใย การเกาะติดเกิดขึ้นกับเส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิด อีกวิธีหนึ่งคือการสังเคราะห์สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำเมื่ออยู่ภายในเส้นใย เช่นการย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีแวตเชนอินดิโกโดยเมื่อเริ่มย้อมจะทำการเปลี่ยนสีย้อมให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนเมื่อย้อมเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนสีย้อมให้กลับมามีอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำซึ่งอยู่ภายในเส้นใย

กรรมวิธีการย้อม ก็มีความสำคัญในการทำให้สีย้อมมีความคงทนต่อการซักเช่น สีรีแอคทีฟมีความคงทนต่อการซักสูงเพราะเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยเมื่อเติมต่างลงไปถ้าย้อมไม่ถูกวิธีก็จะ

ทำให้ความคงทนต่อการชักไม่เท่าที่ควร นอกจากนี้ในการย้อมถ้าใช้เวลาในการแทรกซึมของสีย้อมเข้าไปในเส้นใยไม่เพียงพอแล้วจะทำให้สีย้อมอยู่ในบริเวณพื้นผิวของเส้นใยเท่านั้น ความคงทนต่อการชักก็จะลดลงด้วย

ขั้นตอนการชักล้าง ภายหลังจากการย้อมจำเป็นต้องมีการชักล้างเพื่อกำจัดโมเลกุลของสีย้อมส่วนเกินที่ติดอยู่อย่างหลวมๆ ให้ออกไป ถ้าชักออกไม่หมดเมื่อนำไปทดสอบคุณภาพความคงทนของสีหรือผู้ใช้นำไปชักล้างจะทำให้สีหลุดออกมาได้อีกทำให้เสียความรู้สึกของผู้ใช้

1.5.3.2 ความคงทนของสีย้อมต่อแสง

สีย้อมทุกชนิดเมื่อโดนแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เนื่องจากแสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งเมื่อตกกระทบบนสีย้อมสามารถกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของสีย้อมหรือทำให้สีย้อมเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นที่อยู่ใกล้และเปลี่ยนรูปได้ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีย้อมเมื่อโดนแสงเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ที่พบมากที่สุดคือ การซีดจางของสี การเปลี่ยนสีหรือทำให้ความสดใสของลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นเล็กน้อยเพียงใด หรือรูปแบบใดขึ้นกับองค์ประกอบรวมๆ กันหลายอย่าง ที่สำคัญคือ (ก) สูตรโครงสร้างทางเคมีของสีย้อม ซึ่งมีมากมายหลายชนิดที่มีความคงทนต่อแสงต่างกัน เช่น สีเบสิกที่มีกลุ่มแอมโมเนียม ออกซิเนียมหรือซัลโฟเนียมอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลจะมีความคงทนต่อแสงต่ำมาก ในขณะที่สีแควที่เป็นสารประกอบของแอนทราควิโนนมักจะมีมีความคงทนต่อแสงสูง และสีที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะก็มักจะทนแสงดีเช่นกัน (ข) องค์ประกอบของสภาวะแวดล้อม ได้แก่ ก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น ก็มีผลต่อความคงทนของสีต่อแสง เช่น ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสีย้อมเมื่อโดนแสงทำให้สีซีดจางเร็วขึ้น แต่คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนไม่มีผลต่อสีย้อม ความร้อนและความชื้นมีผลต่อการซีดจางของสีย้อม เมื่อโดนแสงเช่นกัน สูตรโครงสร้างทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใย โครงสร้างที่แน่น เช่นเส้นใยสังเคราะห์จะทนแสงดีกว่าเส้นใยธรรมชาติเพราะโอกาสที่สารต่างๆ ในบรรยากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยามีน้อยเส้นใยสังเคราะห์ดูดความชื้นได้น้อยกว่าเส้นใยธรรมชาติ จึงมีความคงทนต่อแสงสูงกว่าด้วย เพราะความชื้นมีผลต่อการซีดจางของสีย้อมดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้การซีดจางของสีย้อมขึ้นกับ (ค) ส่วนประกอบของแสงที่มาตกกระทบบว่า มีรังสีแสงที่ทำให้เกิดการซีดจางเล็กน้อยเพียงใด โดยปกติแสงอุลตราไวโอเลตและรังสีแสงที่มีความยาวคลื่นถึงประมาณ 580 นาโนเมตร จะทำให้เกิดการซีดจางของสีย้อมได้มากกว่ารังสีในช่วงตั้งแต่ 580 นาโนเมตร ขึ้นไป (ง) ปริมาณของสีย้อมที่อยู่บนเส้นใย มีผลต่อความคงทนแสงเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าย้อมสีเข้มจะทนแสงได้ดีกว่าย้อมสีอ่อน เพราะสีย้อมจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้มากกว่าสีอ่อน ดังนั้นการอ้างถึงความคงทนต่อแสงของสีย้อม จึงควรระบุความเข้มข้นของสีบนชิ้นทดสอบด้วย ปริมาณสารแปลกปลอมอื่นๆ ในเส้นใยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทนแสงของสีย้อม เช่น สารที่ใส่ลงไป在线ใยเพื่อลดความเงามันของเส้นใยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทนแสงของสีย้อม เช่น สารที่ใส่ลงไป在线ใยเพื่อลดความเงามันของเส้นใยจะ

เร่งการเกิดการสลายของสีย้อมเมื่อโดนแสงเช่นเดียวกับสารที่ช่วยติดสีบนเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ถ้ากำจัดไม่หมดหลังการย้อมจะมีผลทำให้ความคงทนต่อแสงลดลงถึง 2 ระดับ นอกจากนี้สารตกค้างนุ่ม หรือสารที่เหลือตกค้างอยู่บนเส้นใย เช่น กรด ต่าง จะทำให้ความคงทนของสีย้อมต่อแสงลดลงเช่นกัน

ในช่วงระยะเวลาประมาณ 10 ปีที่ผ่านมาความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้น การขยายตัวด้านธุรกิจท่องเที่ยวและด้านอุตสาหกรรมต่างๆเป็นไปอย่างรวดเร็วมนุษย์มีความสะดวกสบายกับการใช้เครื่องอุปโภคบริโภคและเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆมากขึ้นในขณะเดียวกันสิ่งเหล่านี้มากมายหลายชนิดก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการรณรงค์เพื่อป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษในทุกด้าน ในแง่ของสีย้อมพบว่ามีสีสังเคราะห์หลายชนิดที่มีโครงสร้างเคมีเป็นอันตรายต่อสุขภาพและในกระบวนการย้อมที่ใช้สารช่วยติดสีที่เป็นเกลือโลหะหนักก็เป็นอันตรายเช่นกัน น้ำทิ้งจากการย้อมทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ปัจจุบันมีการตื่นตัวเกี่ยวกับการใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อฟื้นฟูภูมิปัญญาดั้งเดิมเกี่ยวกับสีธรรมชาติและกระบวนการย้อมเพื่อให้คุณภาพเทียบเท่าสีสังเคราะห์ สำนวญความต้องการและส่งเสริมการตลาดสำหรับผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติ มีการรวบรวมแหล่งและชนิดของสารให้สีธรรมชาติตลอดจนวิธีการสกัดและการใช้ กลุ่มคนจำนวนไม่น้อยในยุโรป อเมริกาและญี่ปุ่นได้ตระหนักถึงพิษภัยจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วที่ปราศจากการคำนึงถึงผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและได้สร้างพลังแห่งการบริโภคสินค้าปลอดสารพิษ ซึ่งพลังแห่งการบริโภคนี้อาจช่วยกระตุ้นให้การพัฒนาและค้นคว้าเรื่องสีธรรมชาติอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามสถานะภาพของสีย้อมธรรมชาติในปัจจุบันยังด้อยกว่าสีสังเคราะห์ในด้านปริมาณจากแหล่งธรรมชาติ กรรมวิธีการย้อม ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมและความหลากหลายและถ้ามองในแง่ความปลอดภัยต่อสุขภาพและระบบนิเวศวิทยาของสีธรรมชาติก็ยังไม่เหนือกว่าสีสังเคราะห์ที่คัดเลือกแล้วว่าปลอดภัย ด้วยเหตุนี้สีธรรมชาติจึงยังไม่สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับวิกฤตการณ์ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศอันเกิดจากสิ่งทอได้ในระยะเวลานี้ แต่ในระยะยาวสีธรรมชาติจะมีโอกาสอย่างมากในการนำมาใช้ในปริมาณที่มากขึ้นหลังจากที่ได้มีการวิจัยทั้งทางด้านพื้นฐานและประยุกต์ของสีย้อมและเคมีของสิ่งทออย่างกว้างขวางแล้ว

1.5.4 คุณค่าของสีย้อมธรรมชาติและข้อจำกัดของการย้อม

โดยทั่วไปคุณประโยชน์ในการย้อมสีธรรมชาติที่สำคัญประกอบด้วย

ก. ปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคเพราะสีธรรมชาติไม่มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพไม่มีอะไรจะเหยาะกระดากผิวหนังให้ระคายเคืองหรืออักเสบนอกจากนั้นสีธรรมชาติบางชนิดยังเป็นยาสมุนไพรที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น มะเกลือ สะเดา ฝางและลิ้นฟ้า เป็นต้น

ข. ประหยัดการใช้สีจากต่างประเทศ ช่วยลดการขาดดุลการค้าของต่างประเทศ

ค. สามารถใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นให้เป็นประโยชน์

ง. สร้างความตระหนักในการอนุรักษ์ต้นไม้และสิ่งแวดล้อมกล่าวคือทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคจะเห็นคุณค่าของต้นไม้เพิ่มมากขึ้นเพราะต้นไม้ นอกจากนำมาทำเป็นอาหาร ยารักษาโรคที่อยู่อาศัยและเชื้อเพลิงแล้วต้นไม้ยังนำมาใช้ย้อมสีได้อีกด้วย

จ. พื้นฟูและอนุรักษ์ความรู้อันเป็นมรดกของประชาคมโลกมิให้สูญหายไป

ข้อจำกัดของสีธรรมชาติ

ในการย้อมสีธรรมชาตินี้ยังมีข้อจำกัดที่ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงอยู่อาทิเช่น

ก. วัตถุดิบในการย้อมสีธรรมชาตินั้นนับวันจะมีจำนวนน้อยลงยิ่งถ้าผู้ผลิตไม่ปลูกทดแทนก็จะหมดไปในที่สุดและถึงแม้จะมีการปลูกทดแทนก็จำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งไม่น้อยกว่า 4-5 ปี ดังนั้น การจัดหาวัตถุดิบจำนวนมากๆ มาใช้ในการย้อมสีธรรมชาติจึงทำได้ยาก

ข. คุณภาพของสีเช่น ค่าความคงทนต่อแสง ความคงทนต่อการซัก การช้ดุนั้นอยู่ระหว่างขั้นต่ำถึงดี

ค. การย้อมซ้ำให้ได้สีเหมือนเดิมของสีธรรมชาติบางครั้งกระทำได้ยากเพราะวัตถุดิบที่นำมาใช้ย้อมนั้นสามารถควบคุมได้ยากเนื่องจากวัตถุดิบขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ต้นไม้ต้นเดียวกัน ในฤดูร้อนและฤดูฝนจะให้สีที่แตกต่างกัน หรือต้นไม้ประเภทเดียวกันอายุไร่เดียวกันแต่ขึ้นอยู่คนละพื้นที่ก็อาจจะมีสีต่างกัน เป็นต้น

ง. วัตถุดิบในการย้อมสีบางสีหายากหรือเทคนิคการย้อมสีบางสีนั้นยากเช่น สีดำจากมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นครามและสีแดงจากครั่ง ผู้ผลิตต้องมีความรู้และความชำนาญเฉพาะสีนั้นๆ ซึ่งผู้ผลิตทั่วไปไม่สามารถทำได้ ในกรณีเช่นนี้ผู้ผลิตบางรายก็จะหันไปใช้สีสังเคราะห์ที่ให้ผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อย (Low impact chemical dyes) ซึ่งปัจจุบันได้มีการผลิตและจำหน่ายกันแพร่หลายกันมากขึ้น สีสังเคราะห์ดังกล่าวไม่มีสาร azo ที่เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งจึงเป็นสีสังเคราะห์ที่ปลอดภัยแต่การใช้สีสังเคราะห์ที่ให้ผลกระทบน้อยนี้จะต้องมีการบำบัดน้ำเสียอย่างถูกวิธีด้วยเช่นกัน

จ. การย้อมสีธรรมชาติมีหลายขั้นตอนและต้องใช้เวลาจากผู้ผลิตจึงต้องเป็นผู้ที่มีความอดทน ปรานีและละเอียดถี่ถ้วน และประเด็นสำคัญคือการย้อมสีธรรมชาติต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงจำนวนมากจำเป็นต้องมีการศึกษาและค้นคว้าการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

1.6 การวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติและ การย้อม

ในประเทศอุตสาหกรรมที่มีการพัฒนาสูงที่สุดแล้ว สารให้สีที่ใช้เป็นสีย้อมสิ่งถักทอ สีย้อมสำหรับการเขียนภาพและทาสีวัสดุและสีในพลาสติกต่างๆ เป็นต้น ได้ผ่านการพัฒนามาถึงจุดสูงสุดแล้ว กล่าวคือ ได้ผ่านจุดสุดยอดของการวิวัฒนาการทางเคมีและเทคโนโลยีแล้ว เมื่อพิจารณาเฉพาะเคมีและเทคโนโลยีของสีสังเคราะห์แต่ถ้ารวมสีธรรมชาติเข้าไปด้วย พบว่ายังต้องมีการมองเคมีและ

เทคโนโลยีของสีย้อมออกไปอีกอย่างกว้างขวางแนวโน้มใหม่ของการวิจัยที่เป็นไปได้ทางด้านนี้มีได้หลายแนวทางคือ (ก) การใช้สีธรรมชาติร่วมกับสีสังเคราะห์โดยใช้หลักการร่วมกัน (ข) การใช้สารช่วยติดสีและสารช่วยเพิ่มความทนทานต่อการซักกับสีธรรมชาติที่มีขายในท้องตลาด (ค) การใช้สารช่วยติดสี เช่น Triacylhexahydrotriazine, Methacrylamido glycolatemethylether และ carbodiimides ซึ่งช่วยปรับแต่งหมู่ไฮดรอกซิลของสารฟีนอลซึ่งพบมากในสีธรรมชาติส่วนใหญ่ (ง) เพื่อเพิ่มความคงทนของสีย้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการย้อมบนเส้นใยเซลลูโลสอาจต้องทดลองปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยโปรตีน และ (จ) ทักษะเฉพาะสำหรับเคมีของการย้อม คือ การพยายามใช้วิธีทางเคมีปรับปรุงคุณภาพของสีธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ธรรมชาติให้คุณภาพที่เหนือกว่าคุณภาพที่พบในสีธรรมชาติส่วนใหญ่อาศัยหลักชีวสังเคราะห์ของโครงสร้างที่เป็นแกนหลักของสารให้สีผสมกับการปรับแต่งโครงสร้าง โดยการเตรียมทางเคมีอินทรีย์(แบบกึ่งสังเคราะห์) อาจจะให้ได้สีย้อมที่มีความหลากหลายยิ่งขึ้น ตัวอย่างของสีธรรมชาติที่มีการศึกษาทางด้านนี้โดยเริ่มจากสารสกัดจากธรรมชาติ คือ สารสีในกลุ่มแอนทราควิโนน และสีอินดิโก กลุ่มเส้นใยที่ใช้กันหลากหลายทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยได้แก่ ฝ้าย พอลิเอสเตอร์ ไหม ขนสัตว์ และไนลอน ซึ่งใช้สีสังเคราะห์ย้อม ได้ดีอยู่แล้วอาจใช้สีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วย้อมได้ดีเช่นกัน

1.6.1 ประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัยและพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยเองนั้นการย้อมสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ส่งต่อกันมาหลายชั่วอายุคนและกำลังจะค่อยๆ สูญหายไปตามความทันสมัยของโลกปัจจุบัน อย่างไรก็ตามในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการตื่นตัวหันกลับมาใช้สีธรรมชาติกันมากขึ้น รัฐบาลไทยได้กำหนดนโยบายส่งเสริมและพัฒนาอาชีพชาวชนบทด้านอาชีพสิ่งทอทุกสาขา ทำการค้นคว้าหาข้อมูลทดลองและฝึกอบรมในด้านการย้อมสีธรรมชาติให้แก่ราษฎรในหลักสูตรเบื้องต้นและพบปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่ได้ในด้านความคงทนของสี ข้อจำกัดของเจดสีและความสดใสของสี ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพยังไม่เป็นที่นิยม ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว. ฝ่าย 2) ได้สนับสนุนการจัดสัมมนาเรื่อง " การประเมินความต้องการแก้ปัญหาและการวิจัยเพื่อพัฒนาส่งเสริมการใช้สีย้อมธรรมชาติ" ผลการสัมมนพบว่านักวิจัยยังขาดข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติที่มีอยู่ในภาคต่างๆ ของประเทศและเพื่อสร้างฐานข้อมูลให้แก่ักวิจัยทางสกว.ฝ่าย 2 ได้สนับสนุนการสำรวจกลุ่มทอผ้าใน 4 ภาคของประเทศในปี 2539 และนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกันในปี พ.ศ. 2540 เพื่อแสวงหาเป้าหมายร่วมและโจทย์วิจัยซึ่งสามารถพัฒนาเป็นแนวทางในการพัฒนาและแก้ปัญหาการฟอกย้อมสีธรรมชาติในระดับชุมชนได้ ปัญหาสำคัญที่พบและท้าทายให้มีการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยมีหลายประการด้วยกัน อาทิ

1.6.1.1 ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับสีย้อมธรรมชาติ สุนัขหายหรือเลือนลางไปตามกาลเวลา เนื่องจากชาวผู้สืบทอดในหนึ่งเวลาหนึ่ง ผู้ที่รู้วิธีย้อมและรู้จักวัสดุให้สีส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุที่มีวัยตั้งแต่ 60-80 ปีขึ้นไป บางคนเลิกทำไปแล้วเหลืออยู่แต่ความทรงจำเก่าๆ

1.6.1.2 กระบวนการย้อมสีธรรมชาติเริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเส้นใยมีขั้นตอนยุ่งยาก ใช้เวลานาน อาทิ การย้อมสีด้วยรากยอป่าตามกรรมวิธีของชาวเขาเผ่ากระเหรี่ยงมีการนำฝ้ายมาย้อมรองพื้นด้วยน้ำมันหมูหรือน้ำมันพืชแล้วซ้ำอีกเป็นเวลาแรมเดือนแล้วจึงจะนำมาย้อมด้วยสีย้อมสกัดจากรากยอป่าในขั้นตอนสุดท้าย

การย้อมสีครามธรรมชาติมีขั้นตอนซับซ้อน ทั้งขั้นเตรียมสีย้อมและขั้นของการย้อมเป็นเทคนิคที่ปกปิดและมีการถ่ายทอดกันตามสายโลหิตจากแม่สู่ลูก จากยายไปสู่หลาน มีความเชื่อมากมายเกี่ยวกับสีคราม เช่น กล่าวว่ามีชีวิตบ้าง ถ้าผู้ย้อมครามประพฤตินอกฐานนอกทางจะทำให้หม้อครามไม่พอใจการย้อมสีครามก็จะไม่สำเร็จ ต้องมีการเซ่นไหว้ขอมาด้วยเหล้าขาว เป็นต้น

1.6.1.3 ความรู้ทางด้านวิชาการและทางเทคนิคที่จำกัดของผู้ย้อมสีธรรมชาติเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของสีย้อมที่ได้

1.6.1.4 สีย้อมธรรมชาติมีเฉดสีที่จำกัด ไม่คงทนต่อการซักต่อแสงและต่อการขัดถู

1.6.1.5 สีที่ได้จากพืชมีเฉดสีที่แตกต่างกันตามอายุของพืช สายพันธุ์และฤดูกาลเก็บเกี่ยว ความไม่สม่ำเสมอของสีที่ได้นี้เป็นปัญหาต่อการประกอบธุรกิจสีย้อม ที่ไม่สามารถทำสีตามที่ลูกค้าต้องการได้ และไม่สามารถทำซ้ำได้

1.6.1.6 ข้อจำกัดในด้านความรู้เกี่ยวกับความหลากหลายของวัตถุดิบที่ให้สีย้อมธรรมชาติ

1.6.1.7 สีย้อมธรรมชาติหลายชนิดได้มาจากพืช ทั้งที่เป็นเปลือกไม้ แก่นไม้ รากไม้ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติดังกล่าวปริมาณมากๆ หากไม่มีการจัดการที่ดี จะทำให้ทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้นสูญสิ้นไปอย่างรวดเร็ว

1.6.2 พลิกฟื้นภูมิปัญญาไทยด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ประเด็นสำคัญที่พบข้างต้นหลายประเด็นที่เป็นประเด็นร่วมที่พบในหมู่ผู้ทอดผ้าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยเฉพาะวิธีการย้อมและการรู้จักใช้วัตถุดิบให้สีที่เป็นสีหลักและเคยใช้มาในอดีต จากประเด็นที่พบเหล่านี้นักวิจัยกลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีจากภาคต่างๆ ได้ร่วมกันวางแผนงานวิจัยโดยมีเป้าหมายร่วมคือ "พัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสิ่งแวดล้อม" และมีหัวข้อวิจัยหลักครอบคลุมสิ่งต่อไปนี้คือ การค้นหาเพื่อให้ได้วัตถุดิบสารให้สีและสารช่วยติดสี การปลูกและขยายพันธุ์ การศึกษา

องค์ประกอบของสารคดีสารช่วยติดสี การเตรียมวัตถุดิบให้สี (เน้นแม่สี) สารช่วยติดสี สารดูดสี กระบวนการย้อมสี คุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์โดยรวมและการแปรรูปสารให้สี สารช่วยติดสี การรักษาสิ่งแวดล้อม

จากข้อสรุปดังกล่าวโครงการวิจัยนี้ได้วางแผนการวิจัยและพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีให้ครอบคลุมปัญหาหลักต่างๆ ในขอบข่ายที่สามารถจะทำได้และพัฒนาส่งเสริมแบบครบวงจรโดยการวิจัยจะเป็นลักษณะสหสาขาวิชาระหว่างนักวิจัยทางด้านสังคมศาสตร์และสาขาวิทยาศาสตร์ โดยเน้นการสำรวจและรวบรวมองค์ความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของผู้ทอผ้าสีธรรมชาติเกี่ยวกับการกรรมวิธีการย้อมและวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติของชุมชนในแถบภาคเหนือตอนบน 9 จังหวัด คือ เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน สุโขทัย และอุตรดิตถ์ โดยรวบรวมเป็นฐานข้อมูลอย่างมีระบบเพื่อการอนุรักษ์ และเพื่อให้กลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการวิจัยและพัฒนาให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดและรักษาสิ่งแวดล้อมเพื่อการส่งเสริมต่อไป

เพื่อแก้ปัญหาในประเด็นต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นและทำให้สีย้อมธรรมชาติกลับมาได้รับความนิยมอีกครั้งหนึ่ง สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.ฝ่าย 2) จึงให้ทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้ชุดโครงการสีย้อมธรรมชาติหลายโครงการในภาคเหนือและภาคอีสาน โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน” เป็นหนึ่งในโครงการวิจัยที่ร่วมอยู่ในชุดโครงการนี้โดยมีรองศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุดทะกุล อาจารย์จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นหัวหน้าโครงการวิจัย โครงการวิจัยนี้ได้วางแผนการวิจัยและพัฒนาโดยใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือภายใต้ขอบข่ายดังนี้

1.6.2.1 สำรวจ รวบรวม ภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับการย้อมผ้าฝ้ายและไหมด้วยสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนและอีสานเหนือโดยเน้น 3 สีหลักคือ แดง เหลือง และน้ำเงิน

1.6.2.2 สกัดสารสีหลักจากวัสดุธรรมชาติ ศึกษาองค์ประกอบ สมบัติและโครงสร้างทางเคมี

1.6.2.3 การแปรรูปสารสีที่สกัดได้จากธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่ใช้งานและสะดวกต่อการเก็บรักษาและการพัฒนาเป็นสีย้อมสำเร็จรูป

1.6.2.4 พัฒนาวิธีการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีที่มีความคงทน มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาด ตลอดจนวิธีการใช้สีอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดมลภาวะจากน้ำทิ้ง

1.6.2.5 การเพิ่มผลผลิตสารให้สีธรรมชาติ นอกเหนือจากวิธีการส่งเสริมการปลูก เช่น การเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สี การศึกษาสารสีจากจุลินทรีย์เพื่อให้มีวัตถุดิบเพียงพอในการผลิตเชิงพาณิชย์

1.6.2.6 การแสวงหาแหล่งวัตถุดิบแหล่งใหม่เพิ่มเติม

1.6.2.7 การขยายขนาดการผลิตสีย้อมสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม

1.6.2.8 การแนะนำเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการทดลองใช้สีย้อมสำเร็จรูป

ระยะเวลาในการทำโครงการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2541- กันยายน พ.ศ. 2543 รวม 2 ปี 6 เดือน เป็นระยะที่มีการดำเนินงานสำรวจ รวบรวมข้อมูลภูมิปัญญาท้องถิ่นในการย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน การปรับปรุงกระบวนการย้อม สกัดแยกองค์ประกอบหลักของสีย้อม ศึกษาสมบัติ โครงสร้างขององค์ประกอบหลักที่แยกได้ การทดลองแปรรูปสีย้อมในระดับห้องปฏิบัติการ การเพิ่มผลผลิตสีย้อมจากพืช โดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์พืชให้สีและการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้จุลินทรีย์เป็นแหล่งให้สีย้อมธรรมชาติอีกแหล่งหนึ่ง

ระยะที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2544-กรกฎาคม พ.ศ. 2546 รวม 2 ปี เป็นช่วงที่มุ่งเน้นการขยายขนาดการผลิตสีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูป ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม การแนะนำให้ผู้ประกอบการรู้จักและใช้สีย้อมธรรมชาติสำเร็จรูปในการย้อมผลิตภัณฑ์ให้กว้างขวางขึ้นและการสำรวจแหล่งสีย้อมธรรมชาติเพิ่มเติมรวมทั้งการผสมสารสีหลัก 3 สี เป็นสีอื่นๆ อาทิ สีแดงจากครั่ง ผสมสีครามเป็นสีย้อมที่มีสีม่วง สีเหลืองผสมสีน้ำเงินจากครามเป็นสีย้อมที่เป็นสีเขียว เป็นต้น

จากการดำเนินโครงการวิจัยใน ระยะเวลาที่ผ่านมา มีข้อสรุปวิธีดำเนินการและผลที่ได้รับพอสังเขปดังนี้

ก. การสำรวจองค์ความรู้และภูมิปัญญาดั้งเดิมของการย้อมสีธรรมชาติ ในพื้นที่ 10 จังหวัด ภาคเหนือตอนบน อันประกอบด้วย จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง เชียงราย พะเยา แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน สุโขทัย และอุดรดิตถ์ โดยเน้นที่การย้อมฝ้ายด้วยสีหลัก 3 สีคือ แดง เหลือง น้ำเงิน ในประเด็นวัตถุดิบให้สี กรรมวิธีการย้อมและสารช่วยติดสี พร้อมๆกับการสำรวจแหล่งและปริมาณของวัตถุดิบให้สีและสารช่วยติดสี โดยการออกไปยังพื้นที่ สัมภาษณ์ผู้ที่เคยย้อมในพื้นที่ จากข้อมูลที่ได้นำมาแยกประเภทของแหล่งให้สีว่า เป็นสัตว์ หรือพืช หรือแร่ธาตุ ถ้าเป็นพืชจะจำแนกตามส่วนที่ให้สี เช่น ใบ ดอก ผล กิ่งก้าน เปลือกลำต้น ราก หรือแก่น ทำการเปรียบเทียบวิธีย้อมด้วยวัตถุดิบให้สีชนิดเดียวกันในแต่ละท้องถิ่น ประเมินคุณภาพสีย้อมที่ได้โดยการตรวจสอบความคงทนต่อการซัก ความคงทนต่อแสง โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. เพื่อพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีที่ได้คุณภาพต่อไป

คณะผู้วิจัยได้เลือกวัตถุดิบที่ให้สีโดยใช้เกณฑ์ว่าเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ถ้าเป็นพืชจะต้องไม่ใช่ส่วนของแก่นไม้หรือเปลือกลำต้นและมีปริมาณมากพอ ทั้งมีแนวโน้มในการส่งเสริมการปลูกและเป็นไม้โตเร็วเพื่อการพัฒนาเป็นสีย้อมสำเร็จรูปในขั้นตอนต่อไป

สำหรับวัตถุดิบที่ให้สีแดง ได้เลือกใช้รากยอป่าและครั่ง ยอป่าเป็นไม้ที่มีรากแตกแขนงในดินมากมาย ภายหลังการตัดรากบางส่วนไปใช้ ส่วนที่เหลือก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้อีก รากยอป่าเป็น

วัตถุดิบที่นิยมใช้ย้อมฝ้ายให้มีสีแดงในกลุ่มชาวเขาเผ่ากระเหรี่ยงมาแต่ครั้งโบราณ และยังเป็นมรดกตกทอดทางวัฒนธรรมจนถึงปัจจุบัน ส่วนครั้งมีการเลี้ยงมากในจังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และแพร่ น้ำสีจากครั้งเป็นของเหลือทิ้งจากการนำครั้งไปบด ล้างเป็นครั้งเม็ดเพื่อนำไปผลิตเซลล์ แลค วัตถุดิบให้สีเหลืองเลือกใช้ไขมันเพราะมีอยู่ทั่วไปและปลุกง่ายใช้เวลาปลุกสั้น วัตถุดิบให้สีน้ำเงิน เลือกใช้ครามและย้อมเพราะปลูกได้ดีในภาคเหนือ สามารถหมักและเก็บไว้เพื่อแปรรูปต่อไปในช่วงนอกฤดูเก็บเกี่ยวได้

ข. ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ให้สี เพราะวัตถุดิบที่ทำให้สีติดตลอดจนวัตถุดิบอื่นที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย้อมสีทุกขั้นตอน โดยสืบค้นจากฐานข้อมูลและทำการทดลองพิสูจน์ยืนยัน หรือวิเคราะห์เพิ่มเติมถ้าเป็นแหล่งวัตถุดิบใหม่ที่ไม่มีข้อมูลรองรับ ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารให้สีได้แก่ สารละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอื่นๆ เช่นอัลกอฮอล์ สีของสารสีที่เปลี่ยนแปลงในสภาพกรดและเบส องค์ความรู้เหล่านี้จะช่วยให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการย้อมสี และเป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนากรรมวิธีการย้อมสีรวมถึงการแปรรูปเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป

จากการศึกษาพบว่าสารสีแดงจากรากยอป่าเป็นสารในกลุ่มแอนทราควิโนน มีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิดคือ มอริโนน (morindone) และ อะลิซาริน-1-เมทิลอีเทอร์ (Alizarin-1-methyl ether) มีมวลโมเลกุลเป็น 270 และสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{10}O_5$ มีการเปลี่ยนสีตามสภาพกรดเบสของสารละลาย ในภาวะที่เป็นกรดจะให้สีเหลืองและในภาวะที่เป็นเบสจะให้สีแดง นอกจากนี้การเติมเกลือโลหะบางชนิดลงไปยังทำให้สีแตกต่างกันออกไปและทำให้สีติดแน่นคงทนอีกด้วย เช่น กับเกลือของแมกนีเซียมได้สีม่วงแดง กับเกลือของอะลูมิเนียมได้สีแดงส้ม กับเกลือของเหล็กได้สีม่วงแดงคล้ำ กับเกลือของโครเมียมได้สีน้ำตาล ส่วนสารสีแดงจากครั้งเป็นสารในกลุ่มแอนทราควิโนนที่มีสารสีหลักเป็นกรดแลคเคอิก (laccic acid) มีการเปลี่ยนสีตามสภาพกรดเบสของสารละลายกล่าวคือ ในสภาพกรดตั้งแต่พีเอช 2.5 ลงไปมีสีแดงส้มถึงสีแดง ที่พีเอช ตั้งแต่ 3.4 ขึ้นไปให้สีแดงและสีแดงจะเพิ่มขึ้นตามพีเอชที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พีเอชของสารละลายยังส่งผลต่อการละลายของกรดแลคเคอิกด้วยคือ ที่พีเอชต่ำกว่า 7.2 กรดแลคเคอิกละลายน้ำได้ไม่ดีเกิดตะกอน กรดแลคเคอิกมีการเปลี่ยนแปลงสีตามชนิดของเกลือโลหะทำนองเดียวกันกับมอริโนนในรากยอป่า

สารให้สีหลักในขมิ้นคือ คอร์คูมิน (curcumin) มีมวลโมเลกุล 368 มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{21}H_{20}O_6$ ละลายน้ำได้บ้างและให้สีเหลืองอ่อน สีจะเข้มข้นเล็กน้อยเมื่อสารละลายมีสภาพเป็นกรด เมื่ออยู่ในสารละลายเบสจะมีการละลายดีขึ้น ได้สารละลายสีเหลืองส้ม สีจากขมิ้นไม่คงทนต่อแสง สีซีดจางเร็วมากเมื่อถูกแสงแดด สำหรับสีเหลืองนี้ยังต้องแสวงหาสารสีเหลืองจากวัตถุดิบชนิดอื่นที่ทนแสงมากกว่านี้

สารสีหลักที่พบในต้นครามหรือฮ่อม เป็นสารอินดิโก (indigo) ซึ่งแยกออกมาจากครามหรือฮ่อมโดยการนำต้นและใบครามหรือฮ่อมมาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สารสีที่อยู่ในพืชเหล่านี้ในธรรมชาติจะจับอยู่กับน้ำตาลกลูโคสในรูปของสารประกอบอินดิแคน (indican) ซึ่งจะถูกสลายด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในธรรมชาติและจากต้นพืชเองขณะที่นำพืชไปแช่น้ำให้ผลผลิตเป็นน้ำตาลกลูโคสกับสารอินโดกซิล(indoseyl) แยกออกจากกัน และเมื่อนำน้ำสกัดมาเติมสารละลายเบสให้มีพีเอชประมาณ 11.0 ขึ้นไปแล้วให้อากาศโดยการตีฟองหรือปั๊มอากาศผ่านเข้าไปในสารละลาย อินโดกซิลจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นอินดิโกทินหรือ อินดิโกสีน้ำเงิน (indigotin or indigo blue) ที่ไม่ละลายน้ำ และตะกอนอินดิโกสีน้ำเงินนี้เองที่จะใช้เป็นสีย้อมวัสดุและแปรรูปเป็นสีย้อมสำเร็จรูปต่อไป ในการวิเคราะห์สารสีที่แยกได้จากครามและฮ่อมจากวิธีการเตรียมสารสีตามกระบวนการข้างต้นพบว่านอกจากจะได้อินดิโกสีน้ำเงินแล้วยังพบสารสีแดงชื่อ อินดิรูบิน (indirubin) ผสมอยู่ด้วยโดยมีสัดส่วนของปริมาณอินดิโกสีน้ำเงิน : อินดิรูบิน เท่ากับ 2:5 มีรายงานว่า อินดิรูบินนี้เป็นสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสรรพคุณเป็นยาซึ่งชาวจีนใช้ในสมัยโบราณและชาวเขาเผ่าต่างๆ ในประเทศไทยก็ใช้กล่าวคือ ใช้เป็นสารลดไข้และมีฤทธิ์ต้านมะเร็งเม็ดเลือดซึ่งน่าสนใจที่จะศึกษาเพื่อใช้เป็นยาต่อไป

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ตรวจหาสารแทนนิน (tannin) ซึ่งเป็นสารช่วยติดสีหรือมอร์แดนต์ (mordant) ในพืชหลายชนิดพบว่าใบยูคาลิปตัสและใบเหมือดโอดมีปริมาณแทนนินสูงจึงนำใบพืชเหล่านี้มาอบแห้งบดเป็นผงแล้วต้มกับน้ำสกัดแทนนินออกโดยการต้มเกลือแกงเพื่อตกตะกอนแทนนิน กรองตะกอนที่ได้ทำให้แห้งแล้วเก็บไว้เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในสีย้อมต่อไป

ค. การศึกษาการสกัดสารสีจากวัตถุดิบ ผลจากการทดลองสกัดสารสีจากรากยอป่าและขมิ้นเพื่อให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูงพบว่าควรใช้ผงพืชอบแห้งและบด สกัดด้วยน้ำด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิหรือแช่ใน 0.5% โดยน้ำหนักโซดาแอชอย่างน้อย 24 ชั่วโมงแยกน้ำสกัดออกแล้วแช่ใหม่อีก 24 ชั่วโมงจะได้น้ำสกัด 2 ครั้ง ครั้งแรกจะมีสารสีเข้มข้นกว่าครั้งที่สอง

ส่วนครามและฮ่อมใช้วิธีหั่นใบและต้นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ถุงผ้ามัดปากแล้วแช่น้ำ 1 คืน ถ่ายน้ำหมักออกเก็บไว้และแช่น้ำใหม่อีก 1 คืน นำน้ำสกัดที่ได้มาเติมน้ำด่างปูนไฮดรอกไซด์ 2 ส่วนต่อน้ำสกัด 1 ส่วน แล้วให้อากาศด้วยเครื่องให้อากาศที่ใช้ในอ่างเลี้ยงปลาประมาณ 30 นาที จนฟองสีน้ำเงินขึ้นเต็ม ตั้งทิ้งไว้ค้างคืนจนตะกอนอินดิโกตกลงด้านล่าง ดูดน้ำด้านบนทิ้งไปล้างตะกอนโดยการเติมน้ำด่างลงไปจนให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อีก 1 คืน ถ่ายน้ำด้านบนทิ้งไป เหลือแต่ตะกอนสีน้ำเงินเข้มข้นลักษณะเหมือนโคลน (indigo paste) เก็บไว้ใช้ต่อไป

จ. การเพิ่มผลผลิตสีจากรากยอป่าโดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มเซลล์รากปลอดเชื้อ โดยนำเซลล์รากมาเลี้ยงบนอาหารวุ้นจนเกิดกลุ่มเซลล์ขนาดใหญ่มีสีน้ำตาลแดงผสมสีเหลือง นำเซลล์รากที่เพาะเลี้ยงได้มาสกัดสีและวิเคราะห์พบว่าสามารถผลิตสารสีได้เช่นเดียวกับรากของต้นยอป่ากล่าวคือมีสารสีมอร์อินโดนและอะลิซาลิน-1-เมทิลอีเทอร์ เช่นเดียวกัน ผลจากการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มสูงใน

การนำมาพัฒนาการเพิ่มผลผลิตสารสีจากรากยอป่าโดยการเพาะกลุ่มเซลล์รากยอป่าในปริมาณมากขึ้นในเวลาสั้นลง และอาจเพาะเลี้ยงเซลล์รากให้เจริญเป็นต้นเพื่อการส่งเสริมการปลูกอีกทางหนึ่งด้วย

คณะผู้วิจัยได้ทดลองศึกษาการเพิ่มผลผลิตของสารสีธรรมชาติจากจุลินทรีย์ที่แยกได้จากแหล่งต่างๆ ได้แก่ ใบไม้ เปลือกไม้ ผลไม้ ดอกไม้ เห็ดและได้กรอกพบว่าจุลินทรีย์ที่ให้สีมีทั้งยีสต์ รา และแบคทีเรียโดยพบยีสต์ 81 สายพันธุ์ ให้สารสีชมพูซึ่งเป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ซึ่งมีสารหลักเป็นเบต้าแคโรทีน (β -carotene) และแอสทาแซนทิน (astaxanthin) สารสีชนิดนี้ยังไม่มีศักยภาพในการเป็นสีย้อมสิ่งทอเนื่องจากถูกออกซิไดส์ในอากาศได้ง่ายต้องเก็บไว้ในที่เย็นสภาพไร้ออกซิเจน แต่เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมในอาหารเสริม นอกจากนี้ยังพบยีสต์อีก 11 สายพันธุ์ให้สารสีดำซึ่งเป็นสารเมลานิน (melanin) สำหรับราให้สารสีเขียวและแดงซึ่งปล่อยออกนอกเซลล์โดยสารสีแดงเป็นสารในกลุ่มแอนทราควิโนนและสารสีเขียวเป็นสารในกลุ่มแนพทฮาควิโนน (naphthaquinone) สำหรับแบคทีเรียที่แยกได้ 1 สายพันธุ์จากเห็ดน้ำหมากอยู่ใน genus *Serratia* ให้สารสีแดงอมม่วงชื่อโพรดิจีโอซิน (prodigiosin) ที่มีศักยภาพสูงในการย้อมเส้นใย และสารสีชนิดนี้ยังเคยใช้เป็นสารปฏิชีวนะอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ามีความโน้มสูงในการเป็นสารต้านเซลล์มะเร็งซึ่งควรต้องมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดนี้ให้ผลผลิตสีในปริมาณมากในอาหารราคาถูก โดยการปรับสูตรอาหารและทดลองตรึงแบคทีเรียบนแผ่นโพลีเอสเตอร์แล้วเลี้ยงในอาหารดังกล่าวพบว่าสามารถผลิตเซลล์และสารสีได้มากขึ้นแยกและสกัดสารสีออกได้ง่าย มีความโน้มสูงที่จะพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

จ. การแปรรูปเป็นสีย้อมสำเร็จรูป มีการทดลองนำสีผงที่เตรียมได้หรือสารสีสกัดเข้มข้นมาปรุงด้วยส่วนผสมต่างๆ ตามสูตรที่ทดลองย้อมผ้าและไหมแล้วว่าติดทนดี มาผสมเป็นสูตรน้ำย้อมแล้วทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) และอัดเป็นเม็ดแกรนูลเพื่อให้ละลายกลับได้ง่ายและเก็บได้นานโดยไม่ขึ้นง่าย ทำการทดลองละลายและย้อม ประเมินคุณภาพสีที่ย้อมได้โดยตรวจสอบความสดใสของสี ความสม่ำเสมอ ความคงทนต่อการซักและแสง สำหรับรายละเอียดของสูตรผสมสีย้อมสำเร็จรูปที่ศึกษานี้มีอยู่ในบทถัดไป (ตั้งแต่บทที่ 2 เป็นต้นไป)

ข. การทดลองปรับสภาพผิวของเส้นใยฝ้ายด้วยโปรตีน ความพึงพิถันในการเตรียมเส้นใยเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดความสำเร็จของการย้อมสีเส้นใย โดยทั่วไปแล้วเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก ซึ่ผึ้งหรือไขมันโดยดัดกับสารละลายที่มีส่วนผสมของโซดาแอช (โซเดียมคาร์บอเนต) โซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์) และสบู่เทียม ตามกระบวนการที่แนะนำโดยกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดแบบนี้จะมีสภาพพร้อมที่จะดูดซับสีได้ดีในระดับหนึ่ง แต่จากการสังเกตว่าเส้นใยไหมและขนสัตว์ซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีนสามารถย้อมติดสีได้ดีกว่าเส้นใยฝ้าย ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลส คณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะดัดแปลงเส้นใยฝ้ายโดยนำโปรตีนมาเคลือบ

บนเส้นใยฝ้ายก่อนการย้อมสี สำหรับโปรตีนที่นำมาเคลือบเส้นใยฝ้ายได้มาจากถั่วเหลืองและน้ำมัน โดยนำฝ้ายมาต้มในน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมัน และจากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรขึ้นไปจะช่วยให้สีย้อมติดเส้นใยฝ้ายได้สีเข้มกว่าฝ้ายที่ไม่ได้เคลือบด้วยโปรตีน

ข. ประชาสัมพันธ์การใช้สีธรรมชาติสำเร็จรูปและวิธีการย้อมแก่กลุ่มผู้ผลิตสิ่งทอย้อมสีธรรมชาติในโอกาสที่ไปจัดนิทรรศการตามงานต่างๆ

1.6.3 กรอบวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติในประเทศไทย

สืบเนื่องมาจากการที่สีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น เช่น การย้อมผ้า การเพิ่มสีสันของอาหาร เครื่องดื่มและยาให้มีความน่ารับประทาน หรือแม้แต่ในการผลิตทางการเกษตรก็ยังคงมีการใช้สี เช่น การแยกสีระหว่างเมล็ดบริโภค (Grain) และเมล็ดพันธุ์ (seed) เป็นต้น การใช้สีส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้สีสังเคราะห์ทางเคมีซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทำให้ประชาชนชาวโลกเริ่มหันมาให้ความสนใจที่ได้จากธรรมชาติมากขึ้น เพื่อแก้ปัญหาผลกระทบที่กล่าวมาแล้ว ประกอบกับที่ในประเทศไทยมีพืช สัตว์หรือจุลินทรีย์ จำนวนมากที่ให้สีตามธรรมชาติได้และสีที่ได้นั้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัวและที่สำคัญเป็นภูมิปัญญาของท้องถิ่นซึ่งถ่ายทอดกันมาหลายชั่วอายุคนและควรมีการอนุรักษ์ไว้

การรวบรวม ศึกษาวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติได้ดำเนินการกันมาบ้างแล้วจนกระทั่งสามารถทราบว่ามีพืช สัตว์หรือจุลินทรีย์ใดให้สารสีในและมีกรรมวิธีในการสกัดสีรวมทั้งย้อมสีให้ติดคงทนได้อย่างไร จึงนับได้ว่ามีข้อมูลจากการรวบรวม ศึกษาวิจัยและพัฒนาข้างต้นเป็นพื้นฐานที่ดียิ่งต่อการพัฒนาสารสีจากธรรมชาติให้สามารถเข้าสู่ระบบการผลิตเชิงพาณิชย์หรือเชิงอุตสาหกรรมได้ต่อไป ทั้งนี้สารสีธรรมชาติดังกล่าว จะต้องมีความสามารถแข่งขันได้กับสารสีที่สังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ไม่ทำลายพันธุ์พืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ในธรรมชาติ มีความสะดวกในการใช้เช่นเกี่ยวกับสารสีวิทยาศาสตร์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การ ศึกษาวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว. ฝ่าย 2) จึงได้พิจารณาวางกรอบวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการวิจัยและพัฒนาสารสีจากธรรมชาติซึ่งเป็นผลจากการประชุม เรื่องสารสีธรรมชาติเมื่อ วันที่ 17 พฤศจิกายน 2546 ณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ที่จังหวัดนครราชสีมาไว้ดังนี้

1.6.3.1 เพื่อให้มีองค์ความรู้หรือภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับสารสีธรรมชาติทั้งระบบซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาสารสีธรรมชาติและให้อนุชนรุ่นหลังได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.6.3.2 เพื่อให้มีการรวบรวมอนุรักษ์และขยายพันธุ์พืชที่เป็นวัตถุให้สืมีให้สูญหายไป และมีเพิ่มขึ้น

1.6.3.3 เพื่อให้มีข้อมูลเชิงพาณิชย์ในการผลิตสารสีธรรมชาติบางชนิดที่มีศักยภาพในการแข่งขัน

1.6.3.4 เพื่อขยายสู่ทางในการใช้ประโยชน์สารสีธรรมชาติให้มากขึ้น เช่น การผลิตอาหาร เครื่องดื่ม ยา เครื่องสำอางและสิ่งของเครื่องใช้อื่นๆ เป็นต้น

ดังนั้นในระยะเวลา 3 ปี จาก พ.ศ. 2547-พ.ศ. 2549 จึงมุ่งดำเนินการวิจัยและพัฒนาสารสีธรรมชาติได้กรอบแนวต่อไปนี้

ก. ประมวลองค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวกับสารสีธรรมชาติทั้งระบบ เช่น วัสดุให้สี ส่วนที่ใช้สี สีที่ได้ จำนวนวัตถุดิบที่ใช้เพื่อให้ได้สารให้สีต่อหน่วย กรรมวิธีการสกัดสี คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของสีและการนำสีไปใช้ประโยชน์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาสารให้สีและให้อนุชนรุ่นหลังได้สืบค้นและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ข. ศึกษาวิจัย รวบรวม อนุรักษ์และขยายพันธุ์พืชที่เป็นวัตถุให้สี

ค. วิจัยและพัฒนาให้ได้ข้อมูลเชิงพาณิชย์ในการผลิตสารสีจากธรรมชาติบางชนิดที่มีศักยภาพในการแข่งขันและมีการนำมาใช้งานจำนวนมากพอในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งสร้างรูปแบบการบริหารจัดการการผลิตสารสีธรรมชาติแบบ cluster ซึ่งมุ่งให้ชุมชนผลิตสินค้าตามวัตถุดิบและความถนัดของชุมชน

ง. วิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์ของสารสีให้กว้างขวางขึ้น เช่น ใช้ในการผลิตอาหาร เครื่องดื่ม ยา เครื่องสำอาง รวมทั้งสิ่งของและเครื่องใช้อื่นๆ

สำหรับแนวทางตามข้อ (ก) นั้นน่าจะทำได้ง่ายจากผลงานวิจัยต่างๆ ที่มีผู้ทำไว้แล้วแต่นำมา รวบรวมให้เป็นระบบและเพิ่มเติมเสริมจุดที่ขาดไป ส่วนข้อ (ข) นั้นทางโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชก็ได้รวบรวมไว้บ้างแล้วน่าจะดำเนินการวิจัยพัฒนาตามแนวทางนี้ได้เป็นอย่างดี สำหรับแนวทางตามข้อ (ค) นั้น คณะผู้วิจัยซึ่งมี รศ.ดร.สุรีย์ พุตระกูล ได้ดำเนินการมามากพอสมควรในด้านการผลิตสารสีธรรมชาติสำเร็จรูปบางสีที่มีข้อมูลเชิงพาณิชย์และความหลากหลายของสีตามความต้องการของตลาด และในข้อ(ง) นั้น คณะผู้วิจัยนี้ได้เสนอขอต่อโครงการการพัฒนาสารสีธรรมชาติในระยะที่ 3 ตามแนวทางที่ระบุไว้รวมทั้งการปรับปรุงคุณภาพการผลิตสารสีย้อมสำเร็จรูปตามแนวทางข้อ (ค) ไว้ด้วยเพื่อความครบสมบูรณ์ของวัตถุประสงค์และการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง

บทที่ 2

การพัฒนาการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มคงทน

2.1 ผลการวิจัยและพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติ

วัตถุดิบสำคัญในการย้อมสีทอผ้าพื้นบ้านที่หาได้ในท้องถิ่นนิยมใช้ส่วนต่างๆ ของพืชและสัตว์ ทั้งที่เป็นความรู้สืบทอดกันมาแต่ดั้งเดิมและพัฒนาขึ้นมาใหม่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว. ฝ่าย 2) ได้ตระหนักถึงความสำคัญของผ้าทอไทยทั้งที่เป็นผ้าทอมือหรือผ้าทอพื้นบ้านและผ้าทอในระบบอุตสาหกรรมจึงสนับสนุนให้เกิดการศึกษาค้นคว้าวิจัยที่เป็นการศึกษาและพัฒนาการทอผ้าทั้งสองประเภทซึ่งมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันโดยชี้ให้เห็นว่าการผลิตผ้าทอของไทยหากได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างมีระบบและเต็มรูปแบบก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนภายใต้การสร้างและใช้ทรัพยากรอย่างสมดุล

ในการสำรวจกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในภาคต่างๆ ของประเทศไทยโดย ดร. นภัส ศิริสัมพันธ์ กอรัณ และคณะจากสถาบันวิจัยสังคมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทยรวมทั้งสิ้นกว่า 143 กลุ่ม มีสมาชิกกว่า 5.2 พันคน ส่วนใหญ่อยู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ มีการพัฒนารูปแบบการผลิตและการจัดการกลุ่มไปสู่เครือข่าย เพื่อจำหน่ายแก่ตลาดหลักใน 3 ระดับ ที่ต้องการผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นบ้านในรูปแบบแตกต่างกัน คือ ตลาดท้องถิ่น (ตลาดใน) ตลาดภายนอกและตลาดชาจร และได้ภาพรวมปัญหาและความต้องการของกลุ่มทอผ้าด้านวัตถุดิบ(สีย้อม) วัตถุดิบ (เส้นใยไหมและผ้า) การทอและกระบวนการย้อมและการจัดการสำหรับปัญหาด้านการย้อมสีธรรมชาติในกลุ่มทอผ้ามีความต้องการความรู้ในการปลูกพืชที่ให้สีย้อมทดแทนวิธีการสกัดสีเพื่อเก็บไว้ใช้ เทคนิคการย้อมและกระบวนการใช้สารติดสีเพื่อปรับปรุงคุณภาพและความคงทนของสี อุปกรณ์การย้อม การเพิ่มเจดสี จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดฐานข้อมูลสำคัญของกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทยซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกลุ่มทอผ้าย้อมสีธรรมชาติในแง่ของจำนวน ที่ตั้งขนาดของกลุ่มประเภทของสิ่งทอ สีที่ใช้ย้อม ตลอดจนปัญหาอุปสรรคต่างๆ ที่กลุ่มประสบอยู่ในกิจกรรมการทอผ้าและสะดวกต่อการศึกษาค้นคว้าพัฒนาในด้านต่างๆ ต่อไป

จากฐานข้อมูลดังกล่าวทางสกว. ได้สนับสนุนงานวิจัยเพื่อพัฒนาการย้อมด้วยสีธรรมชาติทั้งทางด้านสังคมและวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี อาทิ งานวิจัยโครงการประมวลสถานการณ์ วิสัยทัศน์ และกลยุทธ์การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อยกระดับผ้าทอพื้นบ้านไทยโดย รศ. บัณฑิต ศรีนิล คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี ม.ธรรมศาสตร์ ชี้ให้เห็นว่าผ้าทอพื้นบ้านยังคงมีการใช้สีย้อมธรรมชาติแบบดั้งเดิมและสีย้อมธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ แต่สีย้อมธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ยังคงต้องปรับปรุงด้านเทคนิควิธีย้อมเพื่อให้สีติดทนทานได้ดี

งานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาเทคนิคการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติจากครามและครั่ง" โดย ผศ.ดร.ไพศาล คงคาอุยชัย และคณะจากคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า การย้อมสีครามนั้นทำได้ยาก มีปัญหาทางด้านเทคนิคมากที่สุดเนื่องจากกรรมวิธีในการหมักครามเพื่อให้ได้เนื้อครามมาทำสีย้อมนั้นต้องใช้เวลาเอาใจใส่ดูแลอย่างมากตั้งแต่ภาชนะที่ใช้หมัก อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม จึงไม่นิยมย้อมเส้นไหมด้วยสีคราม อย่างไรก็ตามสามารถย้อมเส้นไหมสีครามที่มีคุณภาพดีได้หากทำการย้อมในภาวะที่เหมาะสมคือ การย้อมที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียสนาน 15 นาทีและทำซ้ำ 6 ครั้ง จึงจะได้ผ้าสีเข้มชดสีไม่ตกและทนต่อแสงได้ดี ส่วนการย้อมเส้นไหมด้วยสีครั่งนั้นเป็นกระบวนการคายความร้อนจึงควรย้อมที่อุณหภูมิสูงหากต้องการให้สีติดเส้นไหมได้เร็วในช่วงเวลาสั้น หากต้องการให้เส้นไหมมีความคงทนต่อสี การตกสี การเปลี่ยนสี ควรใช้น้ำหมักเป็นสารช่วยติดสี หลังการย้อม การใช้สารช่วยติดสีต่างๆ ชนิดจะทำให้ได้เส้นไหมที่มีเฉดสีต่างๆ กัน ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีครั่งคือ การย้อมที่ใช้ใบหมักผสมน้ำมะขามเป็นสารช่วยติดสีที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 30-40 นาที

สำหรับงานวิจัย "การพัฒนาระบบการย้อมสีธรรมชาติเพื่ออุตสาหกรรมครอบครัว" โดย ผศ.ดร.อนันต์เสวก เหวซึ่งเจริญและคณะ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ ม.เชียงใหม่ พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการทำความสะดวกด้วยฝ้ายก่อนการย้อม คือการทำความสะดวกด้วยเบส พร้อมการฟอกขาว แต่สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนจะใช้วิธีการทำความสะอาดด้วยสบู่และโซดาแอช แม้ไม่ได้เส้นด้ายที่ขาวเท่าวิธีแรกแต่สะดวกในการปฏิบัติ ในกระบวนการย้อมด้วยน้ำย้อมทุกชนิดที่ศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือระหว่าง 60-90 องศาเซลเซียส ส่วนมากใช้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลาที่เหมาะสมในการย้อมสีคือ 60 นาทีโดยน้ำย้อมหญ้าหวาน ใบสะเดา และเปลือกต้นสมอไทยสามารถดูดซึมได้สูงถึง 70-80% ขณะที่น้ำย้อมสีธรรมชาติอื่นๆ ส่วนมากดูดซับสีได้ไม่ดีนัก (ไม่เกิน 40%)

นอกจากนี้งานวิจัยเรื่อง " การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน" โดย รศ.ดร.สุรีย์ พุตระกูลและคณะ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระบุว่าจากการสำรวจองค์ความรู้ดั้งเดิมของกระบวนการย้อมสีธรรมชาติในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน สุโขทัย อุตรดิตถ์ และแม่ฮ่องสอน พบว่าสีย้อมธรรมชาติ 3 สีหลักที่ชาวบ้านนิยมใช้ คือ สีแดงจากรากยอป่าและครั่ง สีเหลืองจากขมิ้นและสีน้ำเงินจากครามและฮ่อม พบได้ทั่วไปในภาคเหนือ ส่วนพืชที่ใช้ช่วยให้ติดสีหรือเป็นมอร์แดนต์ส่วนใหญ่เป็นพืชที่รู้จักดี มีอยู่ทั่วไป เช่น ใบฝรั่ง ยูคาลิปตัส ใบมะไฟ ใบสาบเสือ ใบเหมือนโลด ใบขี้เหล็ก ผลหมาก ต้นและใบโสมหนาม แก่นสีเสียดเทศ เป็นต้น โดยได้ทำการรวบรวมจะจัดทำเป็นหมวดหมู่ไว้แล้ว และยังพบว่าสีย้อมธรรมชาติที่นิยมใช้ 3 สีหลักนั้นสามารถนำมาสกัดและแปรรูปให้สะดวกต่อการใช้งานและเก็บรักษาโดยแปรรูปเป็นสีผง

แห้งและอัดเป็นเม็ดแกรนูลซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นสีย้อมสำเร็จรูปได้ และในการแปรรูปนี้ต้องทำการทดสอบวิธีการย้อมและคุณภาพผลิตภัณฑ์ย้อมสีด้วยซึ่งทำให้พบแนวทางในการแก้ปัญหาเรื่องการย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติซึ่งมักจะติดสีอ่อนหลังจากผ่านการซักด้วยสบู่หรือผงซักฟอกแล้วและบางสีก็ไม่ติดทนมักจะหม่นและซีดจางตามจำนวนครั้งของการซัก อีกประการหนึ่งคือไม่สามารถย้อมให้ฝ้ายติดสีเข้มได้ตามความต้องการเมื่อย้อมเพียง 1-2 ครั้ง และบางสีเช่นสีแดงย้อมแล้วได้เพียงสีชมพูเข้มออกแดงเท่านั้น

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา มา ได้มีการพัฒนาวิธีการย้อมสีธรรมชาติ และพัฒนาสารสีที่สกัดได้จากธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่ใช้งานและสะดวกในการเก็บรักษาได้ผลงานวิจัยที่ดีระดับหนึ่ง และมีแนวโน้มสูงที่จะขยายเข้าสู่ระดับอุตสาหกรรมหรือระดับหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามการที่จะให้สิ่งทอย้อมสีธรรมชาติมีความคงทนและมีคุณภาพน่าใช้เพียงพอที่จะแข่งขันกับต่างประเทศได้นั้น ยังต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาวิธีตรึงสีธรรมชาติบนผลิตภัณฑ์สิ่งทออย่างถาวรและมีผิวสัมผัสที่น่าใช้ ซึ่งจุดสำคัญของกระบวนการนี้น่าจะอยู่ในขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่ 2 ของกรรมวิธีการย้อมสีกล่าวคือ การเตรียมเส้นใยชนิดต่างๆ เพื่อตรึงสีย้อมธรรมชาติได้อย่างถาวรโดยใช้ตัวเชื่อมที่เกาะติดบนเส้นใยอย่างแข็งแรงด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้เส้นใยเหล่านั้นมีความว่องไวที่จะจับยึดโมเลกุลของสีไว้ได้มากด้วยพันธะที่แข็งแรง เป็นผลให้เส้นใยติดสีเข้มและคงทน นอกจากนี้การเตรียมสารสีย้อมธรรมชาติให้มีกลุ่มเคมีที่ไวต่อปฏิกิริยาแบบสรีรแอคทิฟ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรงกับเส้นใย โดยเกิดพันธะโควาเลนต์กับกลุ่มเคมีของเส้นใย จะทำให้สีย้อมมีความคงทนต่อการซักสูงมาก

2.2 การย้อมฝ้ายด้วยสีธรรมชาติให้ติดสีเข้มและคงทน

ปัจจุบันสีย้อมธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นทุกขณะ แม้ว่าจะมีข้อด้อยหลายอย่างจากสิ่งเคราะห์ในแง่การติดสีเข้ม ความสดใสของสี ความคงทนของสีต่อการซัก ชัดเจนและแสง ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความคงทนของสีย้อมต่อการซัก ได้แก่ ลักษณะการเกาะติดของสีย้อมในเส้นใย กรรมวิธีการย้อม ขั้นตอนการซักล้างและการย้อมทับภายหลังการย้อม ผลงานวิจัยที่ผ่านมา มาเกี่ยวกับกรรมวิธีการสกัดและย้อมสีธรรมชาติได้ ทำให้สีธรรมชาติติดบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้ดีขึ้นในระดับหนึ่งและทดสอบเฉพาะเส้นใยจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยเซลลูโลส (ฝ้าย, ป่าน, ไยกันชง) ไหม เป็นต้น แต่ยังไม่สามารถที่จะทำให้สีธรรมชาติติดเส้นใยได้แน่นมีสีเข้มและตามที่ตลาดต้องการได้

ในกรรมวิธีการย้อมนั้น การเตรียมเส้นใยก่อนการย้อมสีให้มีหมู่ต่างๆ ที่ไวต่อการจับกับสีย้อมได้แน่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ในการย้อมสีธรรมชาติ การย้อมทับเส้นใยต่างๆ ด้วยสารช่วยจับสีหรือมอร์แดนท์ก่อนและ/หรือหลังการย้อมเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลระดับหนึ่งบนเส้นใยเซลลูโลส แต่สีก็ยังไม่ได้ติดเข้มและสดใสเท่ากับการนำไปย้อมเส้นไหม ทั้งนี้เพราะเส้นใยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซีที่จับสีได้เพียงชนิดเดียว แต่เส้นไหมหรือใยไหมเป็นโปรตีน มีหมู่แขนงข้างหลายชนิดที่จะจับกับโมเลกุลของสีได้ อาทิ

เช่น หมูอะมิโน หมูคาร์บอกซิลิก หมูไฮดรอกซี เป็นต้น ได้มีการนำโปรตีนชนิดต่างๆ มาเคลือบบนเส้นใยเซลลูโลส พบว่าการดูดซับสีของเส้นใยเซลลูโลสจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่ติดบนเส้นใยก่อนการย้อมเส้นใยเหล่านั้น สามารถจับกับสารที่ต้องการได้มากและมีความคงทน แม้จะผ่านการซักล้างหลายๆ ครั้ง ก็ยังรักษาสภาพเดิมไว้ได้

ปัญหาของกระบวนการผลิตผ้าทอในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ การได้ผ้าสีไม่สดใส ไม่คงทน และเกิดการเปลี่ยนเฉดสี จึงจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการย้อมสีซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตผ้าที่มีคุณภาพดี สีสดใส และคงทน โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การศึกษาเรื่อง " การรวมขั้นตอนการย้อมสีรีแอคทีฟดัดแปรและการตกแต่งสำเร็จของผ้าฝ้าย" โดย ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ และคณะ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ ค้นพบว่าการนำสีรีแอคทีฟที่มีขายในท้องตลาดมาดัดแปรโดยให้ทำปฏิกิริยากับไดเอทานอลามีน จะสามารถผสมกับสารตกแต่งสำเร็จ และแมกนีเซียมคลอไรด์ ได้เป็นอย่างดีและสามารถนำมาย้อมได้อย่างสะดวกด้วยกระบวนการเพียงขั้นตอนเดียว ผ้าที่ได้จึงมีการคงทนของสีและทนต่อการยับได้ดี นอกจากนี้ งานวิจัยเรื่อง "การศึกษาการลดปริมาณการใช้คอสติโกโซดาในกระบวนการชุบมัน" โดย ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และคณะ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการชุบมันจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ผ้าฝ้าย ทำให้ได้ผ้าที่มีสีติดเข้มและสม่ำเสมอ มีความเงามันและแข็งแรงมาก การชุบมันที่มีความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% หรือ 25 Be ที่ 30 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยโครงการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนระยะที่ 1 นั้น คณะผู้วิจัยได้พบวิธีทำ premordanting ฝ้ายด้วยวัสดุธรรมชาติให้ย้อมสีธรรมชาติได้สีติดเข้มและคงทนนั้น พบว่าการทำความสะอาดฝ้ายด้วยสบู่หรือผงซักฟอกแล้วนำมาต้มกับน้ำถั่วเหลืองนาน 30 นาที ก่อนนำไปย้อมเป็นวิธีที่ช่วยให้สีติดฝ้ายเข้มและทนกว่าปกติซึ่งน่าสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดต่อไปในโครงการพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติระยะที่ 2 นี้

2.3 การทดลองทำ premordant ฝ้ายด้วยโปรตีนจากถั่วเหลืองและน้ำนม และการใช้น้ำย้อมสีอย่างมีประสิทธิภาพ

ในโครงการวิจัยระยะแรกพบว่าด้ายฝ้ายหรือผ้าฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วต้มกับน้ำถั่วเหลืองจะติดสีเข้มกว่าไม่ต้มและเข้มกว่าการใช้มอร์แดนท์ ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เพราะถั่วเหลืองมีโปรตีนซึ่งจะไปเคลือบบนเส้นด้ายทำให้มีหมู่แขนงข้างที่สามารถจับกับสีได้มากมายหลายชนิดกว่าฝ้ายซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีเพียงอย่างเดียวและไม่ใคร่มีบทบาทในการจับกับสีมากนัก ปัญหาที่ใคร่รู้ที่ตามมาคือ (1) ปริมาณโปรตีนในถั่วเหลืองปริมาณเท่าใดที่จะเหมาะสมในการนำมาเคลือบฝ้าย (2) โปรตีนจากแหล่ง

อื่นๆ เช่น จากน้ำมันใช้ได้หรือไม่ (3) การเคลือบด้วยโปรตีนโดยการต้มเป็นการสร้างพันธะระหว่างหมู่แขนงข้างของโปรตีนกับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นด้ายฝ้ายเป็นพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงนั้นจำเป็นหรือไม่ที่จะต้องทำความสะอาดฝ้ายอย่างดีก่อน (กรณีนี้ด้ายจากโรงงานซึ่งผ่านขั้นตอนการล้างไขมันจากฝ้ายเกลียวดิบแล้ว) เพื่อให้ได้คำตอบนี้คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองใช้ฝ้ายเบอร์ 10/1 จากโรงงานแบ่งมาทำความสะอาดเป็นสามแบบ คือ ชักด้วยน้ำเปล่า

ชักด้วยผงซักฟอก

ชักด้วยโซดาแอชและสบู่

ขั้นแรกนำด้ายฝ้ายที่ชักด้วยโซดาแอชและสบู่มาต้มในน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันที่มีความเข้มข้นของโปรตีนต่างๆ กัน คือ 1, 5, 7.5, 10, 15.5 และ 1, 5, 10, 15, 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับและด้ายฝ้ายชักน้ำเปล่าต้มกับน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันที่มีความเข้มข้นของโปรตีนสูงสุดคือ 15.5 และ 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นำมาย้อมด้วยน้ำสีจากครั่งและรากยอป่าได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าด้ายติดสีเข้มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้นทั้งโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันเมื่อย้อมทั้งในน้ำสีจากครั่งและรากยอป่า อย่างไรก็ตามในการทดลองขั้นต้นนี้ยังไม่มีด้ายที่ทำความสะอาดอย่างเดียวก่อนต้มกับโปรตีนมาย้อมเปรียบเทียบได้อาศัยข้อมูลเดิมที่ย้อมติดสีได้ ในจุดนี้คณะผู้วิจัยจะต้องทำการทดลองซ้ำอีก การทดลองนี้จึงยังไม่ตรวจสอบคุณภาพเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบการติดสีเมื่อมีโปรตีนปริมาณสูงสุดของการทดลองระหว่างชักน้ำเปล่าและชักด้วยโซดาแอชและสบู่ พบว่าความเข้มของสีที่ย้อมได้มีปริมาณพอๆ กันจึงคาดว่า การทำความสะอาดฝ้ายโรงงานเพื่อต้มกับน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันเพื่อเคลือบโปรตีนนั้นไม่จำเป็นต้องพิถีพิถันมากนัก ซึ่งผู้วิจัยจะยืนยันซ้ำอีกครั้งในการเปรียบเทียบการชักทั้ง 3 ชนิด

ข้อที่น่าสังเกตคือการติดสีของน้ำย้อมบนฝ้ายที่ต้มด้วยปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นั้นการแปรปรวนละเอียดมากเกินไปทำให้มองเห็นความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้นไม่ชัดเจนแต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กับ 15.5 หรือ 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะเห็นความแตกต่างได้ชัด อย่างไรก็ตามควรทดลองใช้น้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเพื่อดูแนวโน้มการติดสีว่าเข้มขึ้นหรือไม่ คณะผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าถ้าใช้น้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันเข้มข้นมากจะมีตะกอนเกาะบนด้ายฝ้ายหรือบนผืนผ้าฝ้าย ต้องทำการสกัดหรือซักคราบออกให้หมดมิฉะนั้นถ้านำไปย้อมจะติดสีต่าง สีจะติดเข้มมากในส่วนที่มีคราบน้ำถั่วเหลืองหรือน้ำมันเกาะอยู่ (เกิดมากถ้าใช้ผ้าฝ้ายย้อม) จึงควรต้องระมัดระวังในจุดนี้

สำหรับการทดลองใช้น้ำสีอย่างมีประสิทธิภาพนั้น น้ำสีที่ผ่านการใช้ย้อมมาแล้วครั้งหนึ่งนอกเหนือจากการใช้ย้อมผ้าหรือด้ายฝ้ายที่ต้องการสีอ่อน หรือย้อมกระดาษสาแล้วคณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้

ย้อมโครงใบไม้พบว่าได้ผลดีมากได้ใบไม้หลากหลายสีที่จะนำไปประดิษฐ์และแต่งปกสมุดหนังสือ การ์ดอวยพร ต่างๆ ฯลฯ ตัวอย่างโครงใบไม้ย้อมสีแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 การย้อมสีครั้งบนด้วยฝ้ายที่ซักด้วยโซดาแอชและสบูแล้วต้มกับน้ำถั่วเหลือง(ก) และน้ำนม (ข) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ (* ฝ้ายที่ซักด้วยน้ำเปล่า)



รูปที่ 2.2 การย้อมสีรากยอป่าบนด้วยฝ้ายที่ซักด้วยโซดาแอชและสบูแล้วต้มกับน้ำถั่วเหลือง (ก) และน้ำนม (ข) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ (* ฝ้ายที่ซักด้วยน้ำเปล่า)



รูปที่ 2.3 การย้อมสีโครงใบไม้ด้วยน้ำย้อมสีธรรมชาติ ที่ย้อมฝ้ายแล้ว

2.4 การศึกษาหาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมจากน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันในการต้มฝ้ายที่หาความสะอาดแล้วก่อนย้อม

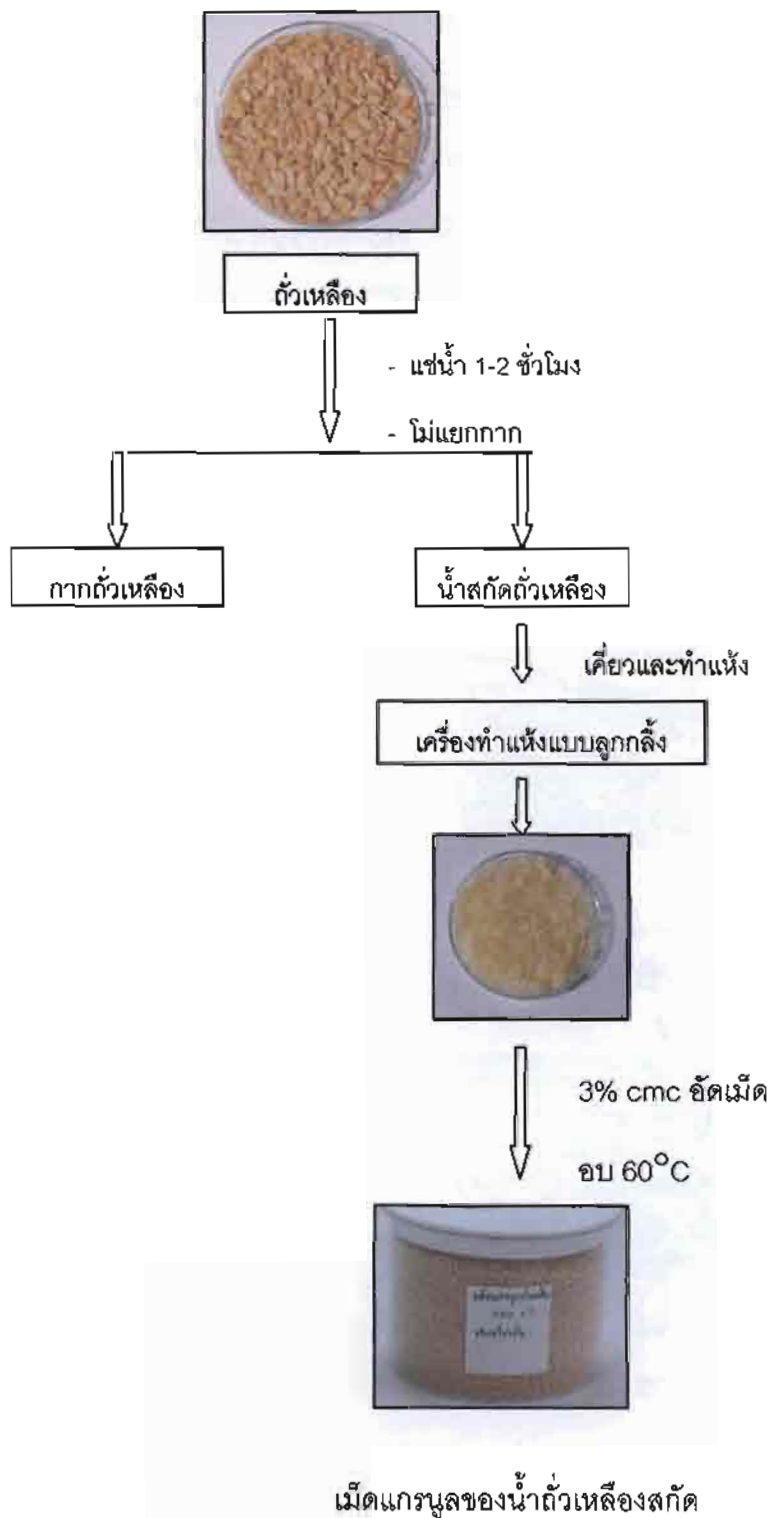
จากการทดลองในข้อ 2.3 พบว่าฝ้ายที่ต้มด้วยน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันที่ความเข้มข้นของโปรตีนต่างๆ สามารถทำให้ด้ายฝ้ายติดสีเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้และมีแนวโน้มเหมือนกันเมื่อย้อมด้วยสีจากรากยอป่าและครั้งแต่การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสีที่เพิ่มขึ้นยังไม่ชัดเจน ประกอบกับผู้วิจัยไม่ได้นำฝ้ายที่ทำความสะอาดเพียงอย่างเดียวมาเปรียบเทียบ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองใหม่โดยมีด้ายฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วไม่ต้มกับโปรตีนมาเปรียบเทียบและปรับปริมาณโปรตีนในน้ำถั่วเหลืองและน้ำมันให้สูงขึ้นเพื่อดูว่าปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมสูงสุดเป็นเท่าใดในการที่จะทำให้สีเกาะติดด้ายฝ้ายได้เข้มที่สุด การทดลองนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

- ก. ทำการเตรียมน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบใช้ลูกกลิ้งและอัดเม็ด
- ข. การหาปริมาณโปรตีนในผงถั่วเหลืองจากดอยคำ น้ำเต้าหู้จากตลาด น้ำเต้าหู้เตรียมเอง ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งและอัดเม็ด นมผงตราอะแลคต้า-เอ็นเอฟ และนมสดห้วยแก้ว การหาปริมาณโปรตีนนั้นใช้วิธีจับสี Coomassie brilliant blue เทียบกับโปรตีนมาตรฐาน BSA
- ค. ทดลองต้มฝ้ายที่ซักสะอาดแล้วในน้ำสกัดโปรตีนจากแหล่งต่างๆปริมาณต่างๆแล้วทดลองย้อมสีธรรมชาติ

2.4.1 การเตรียมน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูกกลิ้งและอัดเม็ด

น้ำถั่วเหลืองจำนวน 15 กิโลกรัม กิโลกรัมละ 16 บาท มาแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง นำมาทำเป็นน้ำถั่วเหลืองโดยใช้เครื่องโม่ปั่นแยกกากสำหรับทำน้ำมันถั่วเหลือง นำน้ำถั่วเหลืองที่ได้มาต้มให้งวดแล้วจึงนำมาทำแห้งโดยผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum Dryer) ที่อุณหภูมิ 100-105°C ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 15 Hz ระยะห่างของลูกกลิ้ง 0.5 มิลลิเมตร ได้ผงแห้งทั้งหมด 7.52 กิโลกรัม จากนั้นนำน้ำถั่วเหลืองผงที่ได้อัดเป็นเม็ดแกรนูลใช้ ถั่วเหลืองผง 100 กรัม กับ carboxy methyl cellulose (cmc) 3 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร นำไปผ่านเครื่องอัดเป็นเม็ดแกรนูล และอบที่อุณหภูมิ 60°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดผ่านตระแกรง จะได้เม็ดแกรนูลออกมา ซึ่ง cmc ใส่ลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวทำให้ผงถั่วเหลืองสัดเกาะกันเมื่ออัดเป็นเม็ดและเมื่อนำเม็ดแกรนูลที่ได้ละลายในน้ำเพื่อต้มกับฝ้ายจะทำให้สารสกัดแขวนลอยในน้ำได้ดีเหมือนเดิมไม่ตกตะกอนแยกตัวออก นำไปหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับกับสี Coomassie blue และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร เทียบกับโปรตีนมาตรฐานพบว่าน้ำถั่วเหลืองสกัดมีปริมาณโปรตีน 28.8 ไมโครกรัมต่อ

มิลลิลิตรและกากถั่วมีปริมาณโปรตีนเหลือติดอยู่ 0.72 มิลลิกรัมต่อกรัม(ทดลองนำไปผลิตซีอิ๊วและ/หรือถั่วเน่าที่ใช้ใส่แกงทางภาคเหนือ) ขั้นตอนการทำน้ำถั่วเหลืองสกัดแห้งเป็นเม็ดแกรนูลสรุปไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังขั้นตอนการสกัดและการทำน้ำถั่วเหลืองแห้งอัดเม็ดแกรนูล

ข้อดีของการใช้โปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองสกัดแบบน้ำเต้าหู้

- ก. การใช้โปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองสกัดแทนการใช้ผงถั่วเหลืองบดมีข้อดีตรงที่ปริมาณแป้งจะถูกขจัดออกไปมาก เมื่อนำไปต้มฝ่ายในน้ำถั่วเหลืองที่เตรียมเข้มข้น น้ำถั่วเหลืองจะไม่หนืดและไม่มีแป้งมาจับฝ่ายเป็นก้อนทำให้โปรตีนเคลือบฝ่ายไม่สม่ำเสมอเวลานำไปย้อมฝ่ายจะต่าง
- ข. สามารถเตรียมใช้เองได้ง่ายและราคาต้นทุนต่ำ ถ้าใช้ผงถั่วเหลืองที่บดสำเร็จรูปแล้วราคาต้นทุนจะสูงขึ้นเท่าตัว และเวลาใช้ต้องให้ถุงผ้าหนาๆ กรองกากและแป้งออก
- ค. สามารถทำแห้งและอัดเป็นเม็ดแกรนูลใช้ควบคุมกับสีย้อมธรรมชาติทั้งสำเร็จรูปอัดเม็ดแกรนูลทำให้เกิดความสะดวกและความคล่องตัวแก่ผู้ประกอบการย้อมผ้าสีธรรมชาติ

2.4.2 การหาปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบแหล่งต่างๆ ที่สามารถนำมาต้มกับฝ่ายให้ติดสีย้อมดีขึ้น

วัตถุดิบจากธรรมชาติที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนเพื่อเคลือบเส้นด้ายฝ่ายหรือผ้าฝ่ายคือแป้งถั่วเหลืองบดจากคอกยคำ น้ำเต้าหู้จากตลาด น้ำเต้าหู้เตรียมเองและทำแห้งอัดเม็ดแกรนูล นมผงอะแล็คต้า-เอ็นเอฟ นมสดห้วยแก้ว (ดังรูปที่ 2.5)



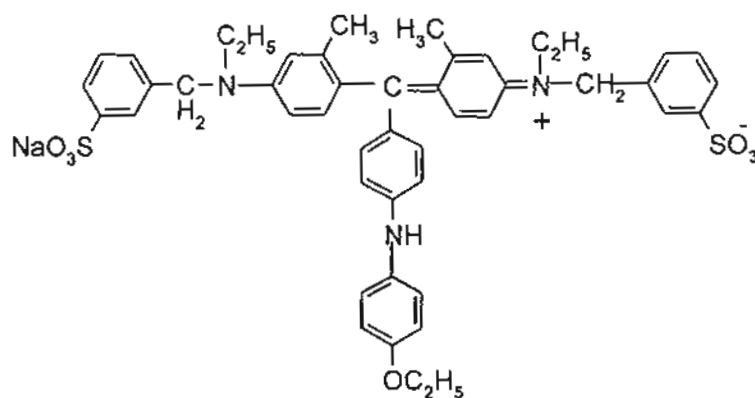
รูปที่ 2.5 แหล่งของวัตถุดิบที่ใช้โปรตีนที่ใช้ในการทดลอง

ในการหาปริมาณโปรตีนนั้นทำได้หลายวิธี เช่นการหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธีเจลดาร์ท การวิเคราะห์โดยวิธี Lowry และการวิเคราะห์โดยวิธีจับกับสีย้อม ในการวิจัยนี้เลือกวิธีจับกับสี

Coomassie brilliant blue เนื่องจากวิธีเจดาร์นั้นไม่เฉพาะกับสายโพลีเปปไทด์ กรดอะมิโนอิสระก็ถูกจับด้วยซึ่งมีการทดลองพบว่ากรดอะมิโนอิสระหรือเจลาตินไม่มีใครได้ผล ในการนำมาติดฝ้ายแล้วฝ้ายติดสีเพิ่มขึ้น วิธี Lowry ไม่ใคร่จำเพาะสารที่นอลิคทำปฏิกิริยาได้หมดและในธรรมชาติในพืชจะมีสารที่นอลิคเจือปนอยู่มากทำให้รบกวนการวิเคราะห์ ส่วนวิธีจับสี Coomassie blue นั้นเป็นวิธีตรวจสอบปริมาณโปรตีนในรูปของโพลีเปปไทด์ ตรวจวิเคราะห์ได้ไวและไม่ใคร่ถูกรบกวนจากสารที่เจือปนมากนัก

2.4.3 หลักการการหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีการจับสี Coomassie brilliant blue

โปรตีนจะจับกับสี Coomassie brilliant blue ในกรดด้วยแรงกระทำแบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) และแรงยึดระหว่างประจุตรงกันข้าม(ionic interaction) สี Coomassie brilliant blue G-250 มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างโมเลกุล สี Coomassie brilliant blue G-250

จากโครงสร้างโมเลกุลของสี Coomassie brilliant blue ข้างต้นจะเห็นว่ามีองค์ประกอบเป็นวงแหวนเบนซีนถึง 6 วง ซึ่งเป็นส่วนของโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำจึงจะจับกับส่วนไม่ชอบน้ำของโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนประเภท aliphatic หรือ aromatic ได้แก่ tryptophan, phenylalanine, proline, methionine, alanine, valine, leucine และ isoleucine นอกจากนี้ในโมเลกุลของสี ยังมีประจุลบอยู่ที่หมู่ sulphonate จึงจับกับโปรตีนในส่วนที่มีองค์ประกอบเป็นกรดอะมิโนชนิด lysine, arginine และ histidine เมื่อสี Coomassie brilliant blue จับกับโปรตีนจะเปลี่ยนโครงสร้างจากสีแดงไปเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร และค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) ที่ความยาวคลื่นนี้แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของโปรตีน วิธีนี้สามารถตรวจสอบปริมาณโปรตีนปริมาณน้อยๆ ในช่วง 1-80 ไมโครกรัมได้

วิธีการหาปริมาณโปรตีนโดยจับสี Coomassie brilliant blue

สารเคมี - Bovine Serum Albumin (BSA) (Fluka Assay $\geq 98\%$)

- Absolute ethanol (Merck)
- Phosphoric acid 86.4%
- Coomassie brilliant blue G-250
- สารละลายโปรตีนตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

อุปกรณ์ - Spectronic 20 (Bausch & Lomb)

- Dynac centrifuge (Clay Adams)

วิธีการเตรียมสารละลาย

ก.) สารละลาย BSA เข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

เตรียมสารละลาย BSA เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยละลาย BSA 0.05 กรัม ใน น้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร ใน volumetric flask จากนั้นแบ่งสารละลาย BSA เข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่เตรียมได้มา 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ใน volumetric flask

ข.) สารละลาย Coomassie brilliant blue G-250

ชั่ง Coomassie brilliant blue G-250 0.01 กรัม นำมาละลายใน absolute ethanol 9.6 มิลลิลิตร จนหมดแล้วเติม 86.4% phosphoric acid 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันจากนั้นใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร เก็บสารละลายที่เตรียมได้ในขวด สีชาที่อุณหภูมิ 4°C (สารละลายที่ได้มีอายุการใช้งานประมาณ 1 สัปดาห์)

วิธีการหาปริมาณโปรตีน

เตรียมหลอดทดลอง 6 หลอด ใส่ส่วนของผสมของสารละลายในแต่ละหลอดดังตารางที่ 1 หลอดที่ 1 เป็น blank ใช้ปรับ spectronic 20 ให้อ่านค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0 หลอดที่ 2 ถึง 5 ใส่สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ในปริมาณต่างๆ กัน และหลอดที่ 6 ใส่สารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณโปรตีน หากตัวอย่างที่จะนำไปหาปริมาณโปรตีนมีความขุ่นมากต้องทำไปปั่นในเครื่อง centrifuge เพื่อแยกตะกอนออก เติมน้ำกลั่นแล้วจึงเติมสารละลาย Coomassie brilliant blue เป็นอันดับสุดท้าย จากนั้นเขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้นาน 5 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร นำข้อมูลปริมาณโปรตีน และค่าการดูดกลืนแสงของหลอดที่ 1 ถึง 5 ไปเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรงที่เรียกว่า calibration curve ซึ่งจะนำมาใช้เทียบหาปริมาณโปรตีนในสารละลายตัวอย่างจากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในหลอดที่ 6

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมของสารละลายเพื่อทำเส้นกราฟมาตรฐาน และหาปริมาณโปรตีนในสารละลาย ตัวอย่างโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue

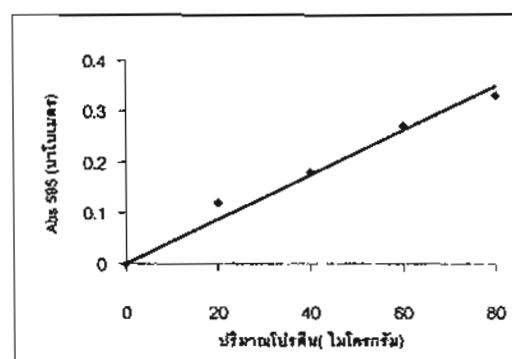
สารละลาย (มล.)	หลอดที่					
	1	2	3	4	5	6
BSA (0.2 มก./มล.)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	-
สารละลายตัวอย่าง	-	-	-	-	-	0.5
น้ำกลั่น	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
สารละลาย Coomassie brilliant blue	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ปริมาณโปรตีนมาตรฐาน (ไมโครกรัม)	0	20	40	60	80	

ตัวอย่างการทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนที่ได้จากการละลายผงน้ำเต้าหู้ที่ผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง(ผสม 3% cmc) 1.0 กรัมในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายตัวอย่างหลอดที่ 6 ทำโดยนำเอา suspension ที่ได้ไปปั่นแยกตะกอนด้วย centrifuge ที่ความเร็ว 80 เป็นเวลา 15 นาที แล้วบีบเปิดสารละลายใสส่วนบนมา 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในหลอดที่ 6 เติมสารละลาย Coomassie brilliant blue แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.2 นี้ และตัวอย่างกราฟมาตรฐานในรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโปรตีนและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

หลอดที่	1	2	3	4	5	6
ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม)	0	20	40	60	80	
ค่าการดูดกลืน	0	0.12	0.18	0.27	0.33	0.13



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของการหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue

นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในหลอดที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.13 ไปเทียบกับ calibration curve จะได้ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 28 ไมโครกรัม นำค่าที่ได้นี้มาคำนวณหาความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายตัวอย่าง

สารละลายตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร มีโปรตีน = 28 ไมโครกรัม

สารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร มีโปรตีน = $28/0.5 = 56$ ไมโครกรัม

ดังนั้น ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายตัวอย่าง = 56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

จากการใช้วิธีการจับสี Coomassie brilliant blue ในการหาปริมาณโปรตีนจากแหล่งต่างๆ เพื่อหาปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฝ้ายสำหรับย้อมสีธรรมชาติในลำดับต่อไปได้ผลเป็นความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนที่หาได้จากสารละลายโปรตีนจากแหล่งต่างๆ

สารละลายโปรตีนจากแหล่งต่างๆ	ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลาย
1) น้ำเต้าหู้จากตลาด	29.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2) นมสดห้วยแก้ว	26.57 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3) ผงถั่วเหลืองคอกยคำ	
3.1) ผงถั่วเหลือง 1.40 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	0.61 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.2) ผงถั่วเหลือง 2.80 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	0.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.3) ผงถั่วเหลือง 4.20 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	1.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.4) ผงถั่วเหลือง 5.60 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.5) ผงถั่วเหลือง 7.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4) นมผงตราอะแลคต้า-เอ็นเอฟ	
4.1) นมผง 2.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	4.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.2) นมผง 4.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	11.98 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.3) นมผง 6.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	21.34 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.4) นมผง 8.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.5) นมผง 10.00 กรัม ละลายน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5) ผงน้ำเต้าหู้ (ผสม 3% cmc) drum dry	
5.1) ผงน้ำเต้าหู้ 0.50 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	36.76 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.2) ผงน้ำเต้าหู้ 1.00 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	56.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.3) ผงน้ำเต้าหู้ 1.50 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.4) ผงน้ำเต้าหู้ 2.0 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
5.5) ผงน้ำเต้าหู้ 2.5 กรัม ละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.4.4 วิธีการ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากแหล่งต่างๆ ด้วยความเข้มข้นต่างๆ กันก่อนนำฝ้ายไปย้อมสีธรรมชาติ

นำฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดกำจัดไขมันออกจากฝ้ายแล้วมาต้มกับสารละลายโปรตีนที่ได้จากแหล่งต่างๆ ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยใช้สัดส่วนฝ้าย 1 ไร่ หนัก 22.60 กรัมต่อของเหลว 450 มิลลิลิตร (1:20) ต้มฝ้ายในของเหลวเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ไฟอ่อน ปิดฝามือต้มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายเปลี่ยนแปลงไปในขณะต้ม คนเป็นระยะๆ เมื่อครบกำหนดเวลานำฝ้ายขึ้นบิดตากให้แห้ง

ตารางที่ 2.4 แหล่งของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนที่ใช้และความเข้มข้นของโปรตีนที่วิเคราะห์ได้

โดยใช้วิธีการย้อมสี Coomassie brilliant blue

แหล่งและสัดส่วน	ปริมาณโปรตีน
1) ฝงน้ำเต้านู้ drum dry(ผสม 3%cmc)	
1.1) ฝงน้ำเต้านู้ 2.25 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	น้อยมากไม่สามารถวิเคราะห์ได้
1.2) ฝงน้ำเต้านู้ 4.50 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	36.72 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
1.3) ฝงน้ำเต้านู้ 9.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	56.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
1.4) ฝงน้ำเต้านู้ 13.50 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
1.5) ฝงน้ำเต้านู้ 18.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	85.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
2) นมผงตราอะแลคต้า-เอ็นเอฟ	
2.1) นมผง 18.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	4.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.2) นมผง 36.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	11.98 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.3) นมผง 54.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	21.34 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.4) นมผง 72.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2.5) นมผง 90.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	37.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3) ฝงถั่วเหลืองดอยคำ	
3.1) ฝงถั่วเหลือง 12.60 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	0.61 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.2) ฝงถั่วเหลือง 25.20 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	0.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.3) ฝงถั่วเหลือง 37.80 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	1.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.4) ฝงถั่วเหลือง 50.40 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
3.5) ฝงถั่วเหลือง 63.00 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร	1.79 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 2.4 แหล่งของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนที่ใช้และความเข้มข้นของโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้วิธีการจับสี Coomassie brilliant blue (ต่อ)

แหล่งและสัดส่วน	ปริมาณโปรตีน
4) น้ำเต้าหู้จากตลาด	
4.1) น้ำเต้าหู้ 28.8 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	1.84 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.2) น้ำเต้าหู้ 144.9 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	9.20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.3) น้ำเต้าหู้ 217.8 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	10.95 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.4) น้ำเต้าหู้ 290.7 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	21.96 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
4.5) น้ำเต้าหู้ 450.0 มิลลิลิตร	29.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5) นมสดห้วยแก้ว	
5.1) นมสดห้วยแก้ว 22.5 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	0.70 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.2) นมสดห้วยแก้ว 45.0 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	2.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.3) นมสดห้วยแก้ว 75.0 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	3.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.4) นมสดห้วยแก้ว 112.5 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	3.75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.5) นมสดห้วยแก้ว 225.0 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	7.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
5.6) นมสดห้วยแก้ว 337.5 มิลลิลิตร เติมน้ำจนมีปริมาตร 450 มิลลิลิตร	15.62 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
*5.7) นมสดห้วยแก้ว 450.0 มิลลิลิตร	26.57 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
*หมายเหตุ ดั้มฝ้ายมีปัญหาที่มีก้อนขาวๆ จับอยู่กับฝ้ายและอยู่ในน้ำนมที่ดั้ม ต้องบดให้หมดแล้วล้างด้วยน้ำแล้วจึงนำไปตาก ส่วนตัวอื่นบดหมดแล้วตากเลย ก่อนย้อมแช่น้ำแล้วบดหมดทุกอย่างตัวอย่างเท่าๆ กัน	

ข้อควรระวังในการเตรียมสัดส่วนของน้ำต่อผงถั่วเหลืองและน้ำเต้าหู้แห้ง

- ก. ในการละลายโปรตีนจากผงถั่วเหลืองและน้ำเต้าหู้แห้งนั้นสัดส่วนของน้ำต่อปริมาณผงแห้งที่โปรตีนละลายมากที่สุดที่อุณหภูมิห้องคือ ผงน้ำเต้าหู้ 13.5 กรัมต่อน้ำ 450 มิลลิลิตร นมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ 72 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ผงถั่วเหลือง 50.4 กรัม ละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ถ้าใช้น้ำน้อยเกินกว่าสัดส่วนนี้โปรตีนจะไม่ละลายออกมาเมื่อนำไปดั้มกับฝ้ายก็อาจจะละลายออกมาได้อีกเมื่อใช้ความร้อนแต่เราก็จะไม่ทราบปริมาณโปรตีนที่แท้จริง

- ข. ในการวิจัยครั้งต่อไปจะทดลองดูการละลายโปรตีนตามสัดส่วนที่ละลายได้มากที่อุณหภูมิห้องว่าจะละลายได้อีกหรือไม่ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น

2.4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการละลายของโปรตีนจากน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการ การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer)

ในการศึกษานี้ใช้น้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผสม 3% cmc แล้วอัดเป็นเม็ดแกรนูล

ซึ่งเม็ดแกรนูลถั่วเหลือง 1.5 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 200 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกคอรัก ทำซ้ำรวม 6 ฟลasks นำไปไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ อุณหภูมิละ 2 ฟลasks (ทำ 2 ซ้ำในแต่ละสภาวะ) เป็นเวลา 30 นาที ดังนี้

สถานที่	อุณหภูมิ
ในห้อง	28°C
water bath	50°C
water bath	80°C

เมื่อครบกำหนดเวลา 30 นาที นำส่วนผสมในแต่ละฟลasks มาปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 80 เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำส่วนใสด้านบนไปหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue ได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงความเข้มข้นของโปรตีนในการละลายน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผสม 3% cmc ด้วยน้ำ (30 กรัม/ลิตร) ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
28	0.08
50	0.11
80	0.20

จากผลการทดลองนี้ทำให้ได้ข้อสรุปว่า อุณหภูมิมีผลต่อการละลายน้ำของโปรตีนจากผงบดน้ำเต้าหู้ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ผสม 3% cmc ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูง

ขึ้นการละลายของโปรตีนออกจากน้ำเต้าหู้อัดเม็ดแกรนูลจะมากขึ้นๆ ข้อมูลนี้จะช่วยในการอธิบายผลของการ treat ฝ้ายโดยนำไปต้มในผงน้ำเต้าหู้ drum dry (ผสม 3%cmc) ละลายน้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มถ้ายิ่งสูงมากเท่าใดจะทำให้การละลายของโปรตีนออกมาจากผงน้ำเต้าหู้ drum dry (ผสม 3% cmc) เกิดได้ดีขึ้นเท่านั้นความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายจะสูงมากขึ้น กว่าที่หาได้ที่อุณหภูมิห้อง

2.4.6 การทดลองย้อมฝ้ายที่ต้มกับน้ำโปรตีนปริมาณต่างๆ ด้วยสีย้อมธรรมชาติชนิดต่างๆ

ในการทดลองครั้งที่ 1 ได้ทำการหาปริมาณโปรตีนในน้ำถั่วเหลือง และน้ำมันที่ใช้เคลือบฝ้าย ก่อนย้อมพบว่าน้ำย้อมเริ่มติดสีบนฝ้ายตั้งแต่ความเข้มข้นโปรตีนที่ใช้ต้มฝ้ายตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร จนถึง 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ทำการทดสอบและการแปรปริมาณละเอียดมากจนทำให้มองเห็นความเข้มข้นของสีที่เพิ่มขึ้นไม่ชัดเจนอีกทั้งยังไม่มีฝ้ายที่ไม่ได้ treat ด้วยโปรตีนเป็นตัวเปรียบเทียบ การทดลองในการวิจัยครั้งที่สองนี้จึงได้ทำการทดลองแปรปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายก่อนย้อมใหม่ซึ่งมีตัวเปรียบเทียบ กับฝ้ายที่ไม่ได้ treat โปรตีน และปรับปรุงวิธีการหาปริมาณโปรตีนให้แม่นยำขึ้นตามผลการทดลองในหัวข้อ 2.4.3 และนำมาแปรปริมาณการ treat ฝ้ายตามหัวข้อ 2.4.4 แหล่งของโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายมีหลายแหล่งด้วยกันคือ

- ก. ผงน้ำเต้าหู้เตรียมเองและทำแห้งแบบลูกกลิ้ง
- ข. นมผงตราอะแล็คต้า-เอ็นเอฟ
- ค. ผงถั่วเหลืองบดจากดอยคำ
- ง. นมสดห้วยแก้ว

ได้แปรปริมาณต่างๆ ในการ treat ฝ้ายที่ทำความสะอาดโดยซักด้วยโซดาแอชกับสบู่และใช้ฝ้ายเบอร์ 10/12 ซึ่งแบ่งเป็นใจเล็กๆ เรียบร้อยแล้ว ส่วนการย้อมสีนั้นใช้สีจากครั้ง รากยอป่า ส้ม และขมิ้น ซึ่งผลการทดลองมีตามลำดับดังนี้

2.4.6.1 การ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองดอยคำและนมผงอะแล็ค

ต้า-เอ็นเอฟโดยแปรปริมาณจาก 0-1.8 และ 0-37.3 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ตามลำดับ

ฝ้ายชุดนี้ได้ทดลองนำมาย้อมสีครั้งในอัตราส่วน 1:20 (น้ำหนักฝ้าย:ปริมาตรสีย้อม) ทำการเตรียมน้ำย้อมจากครั้งโดยใช้ผงสีครั้งที่ได้จากการทำ spray dry 100 กรัมละลายในน้ำต่างปูนใส 2 ลิตร ที่ต้มกับผงไบยูคาลิปดัสแห้ง 200 กรัม และกรองแล้ว เมื่อผสมผงสีครั้งดีแล้วจึงกรองส่วนที่ไม่ละลายออกอีกครั้งด้วยผ้าเนื้อละเอียด 2 ชั้นและบีบน้ำสีจากผ้ากรองออกให้แห้ง การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้ขยำน้าบดให้หมดแล้วลงต้มในน้ำสี 30 นาทีอุณหภูมิเกือบเดือด (เป็นฟองปุดน้อยๆ ไม่เดือด

พลาแน) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นบิตตากแล้วนำมาซักด้วยน้ำเปล่า 2 ครั้ง บิดหมาดๆ แขน้ำยา fixing (quaternary ammonium จากญี่ปุ่น) 1% อุณหภูมิ 40-50 °C ประมาณ 20 นาที แล้วบิตตากให้แห้งนำมาซักให้สะอาดด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม ตากให้แห้งผลการทดลอง ผลการทดลองย้อมสีครั้งด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งพบว่า

ก. ผลการแปรปริมาณโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง พบว่าปริมาณโปรตีนเข้มข้น 0.6-1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ติดสีเข้มกว่า control ในปริมาณความเข้มข้นที่ไม่แตกต่างกันมากแต่ เจดสีที่ได้ต่างจาก control คือตัว control มีสีม่วงอ่อน ในขณะที่ฝ้ายที่เคลือบด้วยโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองจะออกสีม่วงแดงโดยที่ฝ้ายที่เคลือบด้วยโปรตีนเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปลี่ยนเจดสีน้อยที่สุด

จากผลการทดลองอาจแปลได้ว่าปริมาณโปรตีนที่ใช้เคลือบฝ้ายที่ติดสีเข้มสูงสุดคือตั้งแต่ความเข้มข้นของน้ำถั่วเหลือง 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่เนื่องจากการปรับปริมาณโปรตีนให้มีความเข้มข้นสูงๆ ต้องใช้ผงถั่วเหลืองมากและในผงถั่วเหลืองก็มีแป้งปนมากเกิดสารละลายเหนียวๆ ทำให้โปรตีนเข้าไปเกาะเส้นฝ้ายไม่สะดวกและการละลายของโปรตีนเมื่อใช้ผงถั่วเหลืองปริมาณมากจะละลายได้มากที่สุดที่ 50.4 กรัมต่อน้ำ 450 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง เมื่อใช้ผงถั่วเหลืองมากขึ้นเป็น 63 กรัมในน้ำ 450 มิลลิลิตรปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้จะเท่าเดิมคือสูงสุดแค่ 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และการต้มเกิดการระเหยของน้ำอาจมีผลให้การละลายของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปในขณะต้ม (ครั้งต่อไปน่าจะทดลองดูการละลายของโปรตีนจากผงถั่วเหลืองที่อุณหภูมิต่างๆ) อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีน 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดสีเข้มมากสุดแล้ว



รูปที่ 2.8 การย้อมสีครั้งบนฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนจากผงถั่วเหลือง (ก) และ

จากนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ (ข) ที่ปริมาณต่างๆ กัน

ข. ผลการแปรปริมาณโปรตีนจากนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ

การแปรปริมาณโปรตีนจากนมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟจาก 4.8-37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในการ treat ฝ้ายก่อนย้อมน้ำสีจากครั้งพบว่าฝ้ายติดสีเข้มกว่าที่ไม่ได้ต้มกับโปรตีน (control) เห็นได้ชัด

เจนในปริมาณความเข้มข้นของสีเท่าๆกันบนฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนจากความเข้มข้น 4.8-37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและในกรณีนี้ไม่มีแบ่งน้อยกว่าไม่หนักและในแง่เจดสีจะไม่เปลี่ยนจาก control คือยังเป็นเจดสีม่วงเหมือนเดิมแต่เข้มข้น อาจสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของโปรตีนจากนํ้านม 4.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ก็เพียงพอสำหรับการเคลือบฝ้ายเพื่อให้จับสีเข้ม อย่างไรก็ตามน่าจะลองแปรปริมาณโปรตีนในช่วงที่ต่ำลงอีกกว่าปริมาณน้อยที่สุดเท่าใดที่ทำให้ติดสีเข้มได้เท่ากัน ส่วนปริมาณโปรตีนสูงที่สุดนั้นน่าจะดูได้จากการละลายของโปรตีนได้มากที่สุดที่อุณหภูมิห้อง ในกรณีนี้ผมที่ใช้ทดสอบผม 72.00 กรัมละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร เป็นปริมาณที่ละลายโปรตีนที่มากที่สุดคือ 37.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2.4.6.2 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากผงน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูก

กลิ้งโดยแปรปริมาณจาก $< 0.04-0.08$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ฝ้ายที่ต้มกับน้ำถั่วเหลืองสกัดและทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีปริมาณต่ำลงและปริมาณแบ่งจะถูกกรองออกไปค่อนข้างมากการละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องนั้น พบว่าละลายได้มากที่สุดที่ความเข้มข้น 13.5 กรัมต่อน้ำ 450 มิลลิลิตร หรือ 0.03 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเป็น 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนตามวิธีนี้ทดลองย้อมสีจาก ครั่ง ฮ่อม และ ขมิ้น (รูปที่ 2.9 และ 2.10) พบผลการทดลองตามลำดับดังนี้

ก. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากครั่ง

การเตรียมนํ้าสี ครั่งผงทำแห้งแบบ spray dry	100	กรัม
น้ำต่างปูนใส	2	ลิตร
กรดซิตริก	50	กรัม
wetting agent	25	กรัม

การย้อม ลองย้อมสีชุดที่ 1 โดยต้มเดือดปุดๆ 30 นาทีทิ้งให้เย็นและปิดตาก ชักด้วยน้ำเปล่า 2 ครั้ง แช่ใน fixing 1% ที่ 40-50 °C ประมาณ 20 นาที แล้วปิดตากให้แห้ง ชักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม ได้ฝ้ายสีม่วงเข้ม สีที่เหลือจากการย้อมครั้งแรกนำมาย้อมฝ้ายที่ treat แบบเดียวกันอีกครั้งหนึ่ง ได้สีม่วงอ่อนลง

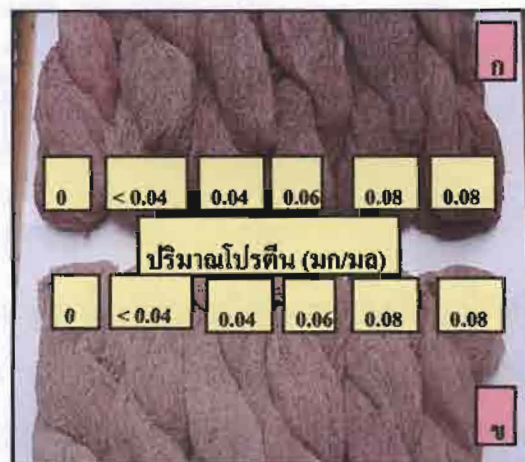
ผลการทดลอง ผลการทดลองตามรูปที่ 2.9 พบว่า ปริมาณโปรตีนต่ำประมาณ $< 0.04-0.05$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ผลไม่ต่างจากฝ้ายที่ไม่ได้ treat ด้วยโปรตีน ปริมาณโปรตีน 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เริ่มจะมีการติดสีเพิ่มขึ้นทั้งสองกรณีคือที่น้ำย้อมเข้มข้นและน้ำย้อมที่เจือจางลง ปริมาณน้ำย้อมตั้งต้นก็มีผลต่อการติดสีฝ้ายเข้มข้น ถ้าน้ำย้อมเข้มข้นมากไปและกรองตะกอนสีออกไม่หมดมีแนว

โน้มน้าวสีจะตกลงบนฝ้ายทำให้สีต่าง ดังนั้น การทดลองครั้งต่อไปน่าจะ treat ฝ้ายด้วยโปรตีนที่ทำให้สีติดดีที่สุดแล้วย้อม ในน้ำย้อมที่มีความเข้มข้นของน้ำสีตั้งต้นต่างๆ กัน

ข. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากฮ่อม

การเตรียมน้ำสี ใช้ paste ที่ได้จากการหมักฮ่อม 27 กิโลกรัมได้ paste เหลวปริมาตร 12 ลิตร แบ่งมา 4 ลิตร เติม กรดซิตริก 200 กรัม เกลือแกง 200 กรัม wetting agent 25 กรัม ผสมกันแล้วแบ่งมา 100 มิลลิลิตร เติมน้ำต่างปูนไลเป็น 1.5 ลิตร

การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้มาขยำนํ้าบิดหมาดแล้วขยำนํ้าสีให้ทั่วตั้งไฟอ่อนๆ 15 นาที ทิ้งให้เย็น บิดตากให้แห้งซักสีส่วนเกินด้วยน้ำเปล่าแล้วแช่นํ้ายา fixing 2% ที่ 40-50°C เป็นเวลา 20 นาที บิดตากแล้วซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม



รูปที่ 2.9 การย้อมฝ้ายที่ต้มกับโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองแห้งที่ความเข้มข้นช่วง < 0.04-0.08

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ย้อมด้วยสีครั้งที่ความเข้มข้นของน้ำสีต่างกัน (ก) น้ำสีเข้มข้น

(ข) น้ำสีเจือจางลง



รูปที่ 2.10 การย้อมฝ้ายที่ต้มกับโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองแห้งที่ความเข้มข้นช่วง < 0.04-0.08

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ย้อมด้วยสีจากฮ่อม (ก) และขมิ้น (ข)

ผลการทดลอง ผลการทดลองตามรูปที่ 2.10 พบว่าปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายในช่วง ต่ำๆ < 0.04-0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่ทำให้สีติดฝ้ายเข้มกว่า control แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นติดสีเข้มขึ้นเล็กน้อยจากฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนเข้มข้น 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ก็ไม่เด่นชัดในกรณีสีอินดิโก นั้นปริมาณโปรตีนอาจจะต้องมากกว่าที่ทดลอง เพราะส่วนใหญ่เป็นสีแปลงรูปอาศัยการเปลี่ยนจากรูปรีดิวซ์เป็นออกซิไดส์ที่ไม่ละลายตกอยู่ในเส้นใยฝ้าย

ค. การย้อมฝ้ายด้วยสีจากขมิ้น

การเตรียมน้ำสี ใช้ผงขมิ้น 1 กิโลกรัม

น้ำต่างอุณหภูมิ มีสารสกัดแทนนินจากใบยูคาลิปตัส 2 ลิตร ละลายแล้วกรองกากด้วย
ถุงผ้าเนื้อละเอียด

เติมเกลือแกง 100 กรัม

กรดซิตริก 100 กรัม

wetting agent 25 กรัม

การย้อม นำฝ้ายที่เตรียมไว้มาขยำนํ้าให้ทั่วและบิดหมาดๆ ลงต้มในน้ำสีที่เตรียมไว้ให้อุ่นหมกมิเกือบเดือดหรือเดือดปุดๆ เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบิดตาก ชักน้ำเปล่า 2 ครั้ง และแช่ในนํ้ายา fixing 1% ที่ 40-50°C นาน 20 นาที บิดตากให้แห้ง ชักด้วยผงซักฟอกตามด้วยนํ้ายาปรับผ้านุ่ม

ผลการทดลอง จากผลการทดลองในรูปที่ 2.10 พบว่าฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนที่ความเข้มข้น < 0.04-0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ผลการติดสีไม่แตกต่างไปจาก control ฝ้ายเริ่มติดสีเข้มขึ้นเมื่อ treat ด้วยโปรตีนเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยสีออกเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล

สรุป ผลการทดลอง treat ฝ้ายด้วยโปรตีนจากน้ำเต้าหู้แห้งเตรียมเองความเข้มข้น < 0.04-0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรนั้นฝ้ายจะติดสีย้อมเข้มขึ้นต่างจาก control ที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไปในกรณีสีจากขมิ้นและ 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ขึ้นไปในกรณีสีจากครั้ง ส่วนสีอินดิโก จากย้อมนั้นใช้นํ้าสีตั้งต้นค่อนข้างเข้มข้นและการเข้าของน้ำสีเป็นแบบดูดซับเข้าไปในเส้นใยฝ้าย ความแตกต่างของการติดสีจาก control เห็นไม่ใคร่ชัดเจน ควรต้องลองเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายต่อไป และจากการทดลองพบว่า ความเข้มของน้ำสีตั้งต้นมีผลต่อการติดสีบนฝ้ายด้วยน้ำสีเข้มข้นจะมีสีติดบนฝ้ายได้เข้มกว่าน้ำสีเจือจาง

2.4.6.3 การต้มฝ้ายด้วยโปรตีนจากนมสดห้วยแก้วโดยแปรปริมาณจาก 0.7-26.6

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ปริมาณโปรตีนในน้ำมันสดห้วยแก้วที่ใส่ลงขายจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าโปรตีนจากน้ำเต้าหู้เตรียมเองกล่าวคือมีโปรตีนอยู่ถึง 26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จึงทำการแปรความเข้มข้นให้อยู่ในช่วง 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยการทำให้เจือจางด้วยน้ำแล้วหาปริมาณโปรตีนโดยวิธีจับสี Coomassie brilliant blue แล้วนำมาต้มฝายที่ทำความสะอาดแล้วเพื่อเตรียมย้อมต่อไป ด้วยน้ำสีจากขมิ้นและจากเปลือกไม้สะนอยได้ผลดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ

ก. การย้อมฝายด้วยสีจากขมิ้น

การเตรียมน้ำสี น้ำสีขมิ้นที่ใช้เป็นน้ำสีที่เตรียมแบบข้อ 2.4.5.2 ค. แต่เดิมสารสกัดจากรากยอป่าด้วยเอทานอล 1 ลิตร และเติมน้ำต่างปูนใสลงไปอีก 1 ลิตร ได้น้ำสีเหลืองเจือจางกว่าเดิม

การย้อม นำฝายที่เตรียมไว้มาขยำน้ำบิดหมาดๆ แล้วต้มในน้ำสีอุณหภูมิเกือบเดือดเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ปิดตากและซักน้ำเปล่า 2 ครั้ง แช่ใน fixing 1% ที่อุณหภูมิ 40-50°C เป็นเวลา 20 นาที ปิดตากให้แห้งซักด้วย ผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม

ผลการทดลอง จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าฝายเริ่มติดสีเข้มต่างจาก control เมื่อ treat ด้วยโปรตีนเข้มข้น 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นต้นไปและผลไม่ใคร่ชัดเจนมากเหมือนการทดลองอื่นๆ และข้อมูลการทำเจือจางและปริมาณโปรตีนที่ใช้จากน้ำเต้าหู้แห้ง นมผงอะแลคต้า-เอ็นเอฟ ค่อนข้างขัดกันอาจเป็นผลเนื่องจากการหาปริมาณโปรตีนที่ไม่ถูกต้องแม่นยำ

ข. การย้อมฝายด้วยสีจากเปลือกไม้สะนอย

สีจากเปลือกไม้สะนอยจากการทดลองในครั้งที่ 1 ของผลการวิจัยหาแหล่งสีเพิ่มเติมพบว่าเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจและได้ผลผลิตเวลานำมาสกัดน้ำสีสูงกว่ารากยอป่า มีสีแดงในน้ำต่างผสมเกลือแกงเป็นมอร์แดนท์ และสีออกน้ำตาลส้มในน้ำต่างผสมสารส้ม คณะผู้วิจัยจึงทดลองนำมาย้อมฝายที่แปรปริมาณโปรตีนจากนมสดห้วยแก้วช่วง 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อีก 2 ชุดได้ผลดังรูปที่ 2.12

การเตรียมน้ำสี

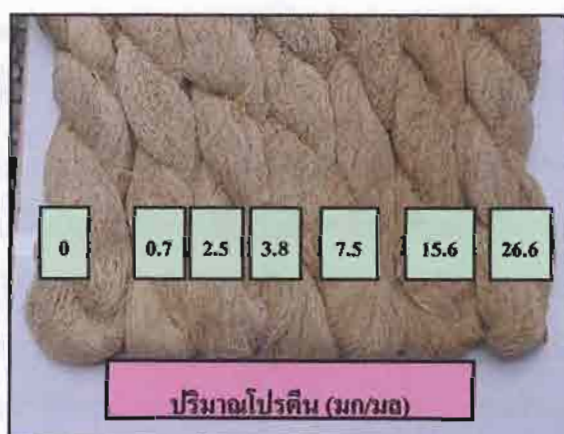
ข1. ผงเปลือกไม้สะนอยแห้ง 15.2 กิโลกรัมแช่น้ำต่าง 45 ลิตร ค้างคืนแล้วบีบกากออกไปแช่เอทานอลแบ่งมา 4 ลิตร เติมสารส้ม 100 กิโลกรัม wetting agent 25 กรัม ได้น้ำสีส้ม

ข2. ผงแห้งเปลือกไม้สะนอย 15.2 กิโลกรัมแช่น้ำต่าง 45 ลิตร ค้างคืน 1 คืนแล้วบีบกากออกไปใส่กรดด้วยเอทานอล แบ่งมา 40 ลิตร เติมเกลือแกง 2 กิโลกรัม wetting agent 100 กรัม

การย้อม นำฝายที่เตรียมไว้ 2 ชุดขยำน้ำให้ทั่วและบิดหมาด ต้มในน้ำย้อม ข1. 1 ชุด และน้ำย้อม ข2. อีก 1 ชุด ที่อุณหภูมิเกือบเดือดหรือเดือดปุดๆ เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นและปิดตากให้แห้ง นำมาซัก

น้ำเปล่า 2 ครั้งใน fixing agent 2% ที่อุณหภูมิ 40-50°C เป็นเวลา 20 นาที บิดตากให้แห้งซักด้วยผงซักฟอกตามด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่ม

ผลการทดลอง ผลการย้อมฝ้ายด้วยสีจากเปลือกไม้สะระนอยบนฝ้ายที่ treat ด้วยโปรตีนจากนมสดห้วยแก้วปริมาณต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าฝ้ายที่ติดสีทั้ง ข1. และ ข2. นั้นเริ่มติดสีเข้มขึ้นกว่า control ที่เห็นได้ชัดเจนที่ความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้ treat ฝ้ายตั้งแต่ 7.5-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นจาก 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ผลเช่นเดียวกับโปรตีนที่มีความเข้มข้นโปรตีน 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการทดลองย้อมสีจากเปลือกไม้สะระนอยให้ผลที่



รูปที่ 2.11 การย้อมสีขมิ้นบนฝ้ายที่ต้มกับน้ำนมสดห้วยแก้วที่มีปริมาณโปรตีนต่างๆ จาก 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 2.12 การย้อมสีจากเปลือกไม้สะระนอยบนฝ้ายที่ต้มกับน้ำนมสดห้วยแก้วที่มีปริมาณโปรตีนต่างๆ ในช่วง 0.7-26.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ก) สีจากเปลือกไม้สะระนอยที่ผสมสารส้มในน้ำต่างปูนใส และ (ข) สีเปลือกไม้สะระนอยที่ผสมเกลือแกงในน้ำต่างปูนใส

ค่อนข้างชัดเจนที่สุดและผลการติดสีเข้มที่สุดตรงกับสีจากขมิ้นคือความเข้มข้นโปรตีน 7.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นต้นไป ส่วนผลการแปรปริมาณโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองนั้นจะต่ำกว่าเนื่องจากจำกัดด้วยการละลายโปรตีนจากน้ำถั่วเหลืองเข้มข้น และในกรณีของน้ำเต้าหู้ที่แปรปริมาณได้สูงสุดเพียง 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งยังมีน้อย อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากน้ำเต้าหู้ที่ขายทั่วไปตามท้องตลาดปรับเปลี่ยนปริมาณได้สูงสุดเป็น 29.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งยังไม่ได้นำมาทดลอง treat ฝ้ายแต่เคย treat ในผลการวิจัยครั้งที่ 1 เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรขึ้นไปก็ติดสีเข้ม

2.5 สรุปผลการทดลองทั้งหมด

ผลการทดลองทั้งหมดอาจสรุปได้ว่าปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมในการนำมาเคลือบเส้นด้ายฝ้ายก่อนย้อมนั้นขึ้นกับแหล่งที่มาของโปรตีน ชนิดและความเข้มข้นของน้ำสีตั้งต้นกล่าวคือ

ก. ปริมาณโปรตีนจากผงถั่วเหลืองดอยคำ แปรปริมาณโปรตีนได้สูงสุดประมาณ 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถ้ามากกว่านั้นจะมีแป้งปนมากทำให้สารละลายหนืดและแบ่งเกาะเส้นฝ้ายมาก โปรตีนละลายในน้ำได้สูงสุดที่อุณหภูมิห้อง 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อใช้ผงถั่วเหลือง 50.4 กรัมละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ถ้าจะให้ใช้ได้ควรกรองแบ่งออกไปด้วยผ้าเนื้อละเอียดก่อนนำไปต้มกับฝ้าย

ข. โปรตีนจากผงน้ำเต้าหู้ทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำแต่แบ่งถูกกำจัดออกไปได้มาก โปรตีนละลายได้มากที่สุด 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อใช้ผงเต้าหู้ 13.5 กรัมละลายน้ำ 450 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง อาจจะสูงกว่านี้ได้ถ้าใช้อุณหภูมิในการละลายสูงขึ้นในขณะต้ม

ผลการแปรปริมาณโปรตีนจากถั่วเหลืองทั้งในรูปผงถั่วเหลืองตามข้อ ก และจากผงน้ำเต้าหู้แห้งตามข้อ (ข) อาจสรุปได้ว่าปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในน้ำเต้าหู้แห้ง 0.6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในน้ำผงถั่วเหลืองสกัดไปจนถึง 1.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ก็จะติดสีเข้มกว่า control ในความเข้มข้นที่ไม่ต่างกันมาก การทดสอบให้แน่ใจควรใช้น้ำเต้าหู้สดจากตลาดความเข้มข้น ≈ 1.8 -29 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มาทดสอบอีกครั้งเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนที่ชัดเจน ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการหาปริมาณโปรตีนในน้ำเต้าหู้สดจากตลาดและน้ำนมสดและนมผงซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่ค่อนข้าง homogenous จะมีความซับซ้อนระดับหนึ่งเมื่อนำไปหาปริมาณโปรตีนโดยการจับกับสี Coomassie brilliant blue แล้ววัดทาง spectrophotometry อาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสมบัติการกระเจิงแสงของสารละลายคอลลอยด์ ปริมาณโปรตีนที่คำนวณได้จึงค่อนข้างสูงกว่าการหาปริมาณโปรตีนจากการละลายผงน้ำเต้าหู้แห้งและผงถั่วเหลืองปั่นให้ตกตะกอนแล้วนำส่วนใสๆไปหาปริมาณโปรตีน

ค. โปรตีนที่วิเคราะห์จากน้ำเต้าหู้สดจากตลาดที่มีสมบัติเป็นสารละลายคอลลอยด์ค่อนข้างมากจะให้ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าปกติแบบเดียวกันการวิเคราะห์โปรตีนในน้ำนม

บทที่ 3

การพัฒนาการผลิตสีครามธรรมชาติสำเร็จรูป

3.1 ความเป็นมาของการย้อมสีครามจากธรรมชาติ

มนุษย์รู้จักการใช้สีจากธรรมชาติ คือ พืช สัตว์ และแร่ธาตุมาช้านานโดยนำมาตกแต่งสีของอาหาร เครื่องแต่งกาย เครื่องมือเครื่องใช้ที่อยู่อาศัย การรู้จักใช้วัสดุธรรมชาติมาแต่งแต้มสีสันให้กับชีวิตในแง่มุมต่างๆ จึงเป็นความรู้อีกแขนงหนึ่งที่มีการพัฒนาสืบทอดกันต่อๆ มา แต่การถ่ายทอดจะมีกันเฉพาะภายในแต่ละครอบครัวหรือชนกลุ่มเดียวกัน ไม่เป็นที่แพร่หลาย และไม่มีบันทึกไว้เป็นหลักฐาน ประจวบกับการที่สังคมได้พัฒนาขึ้นไปสู่ยุคของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้ชนรุ่นหลังไม่สนใจที่จะศึกษาและสืบทอด ทำให้ภูมิปัญญาดั้งเดิมเหล่านี้น้อยๆ สูญหายไปกับกาลเวลา ยิ่งไปกว่านั้นในปัจจุบันมีการผลิตสีสังเคราะห์ที่ใช้สะดวกกว่า มีคุณภาพดีกว่า และมีหลายเฉดสีให้เลือก ทำให้ผู้คนหันมานิยมใช้สีสังเคราะห์มากยิ่งขึ้น แต่สีสังเคราะห์เหล่านี้มักเป็นสารก่อมะเร็ง มีพิษต่อเยื่อปอดผิวหนัง สมอง ระบบประสาท หัวใจและหลอดเลือด และยังทำให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการหันกลับไปหาสีย้อมจากธรรมชาติกันมากขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ แต่ปัญหาของการใช้สีย้อมธรรมชาติก็มีมากเช่น การเตรียมสียาก สีที่ได้แต่ละครั้งไม่เหมือนกัน กรรมวิธีการเตรียมสีย้อมยุ่งยากซับซ้อน สีไม่คงทน พืชพันธุ์ไม้ให้สีบางชนิดมักพบและขึ้นได้เฉพาะท้องถิ่น ต้องใช้พื้นที่ปลูกมาก หนึ่งในสีย้อมธรรมชาติที่มักมีการกล่าวขวัญกันมากถึงความยุ่งยากของการเตรียมสีและย้อมสี คือ สีน้ำเงินจากพืชตระกูลครามหรือฮ้อม ที่มีประวัติความเป็นมายาวนานนับพันๆ ปี ในแต่ละซีกโลก ไม่ว่าจะเป็น ออฟริกา ฝรั่งเศส อังกฤษ เยอรมัน อเมริกา อินเดีย จีน ญี่ปุ่น เวียดนาม อินโดนีเซีย ลาว และไทย แต่ละภูมิภาคมีวิธีการเตรียมและย้อมที่เป็นแบบฉบับของตนเอง ที่ได้รับการถ่ายทอดมาแต่ครั้งบรรพบุรุษ เรื่องราวของสีครามมีการนำเสนอในหลากหลายมิติ ทั้งในรูปแบบของคติความเชื่อ เรื่องราวลึกลับ งานศิลปะ การแพทย์ด้านสรรพคุณเป็นยาสมุนไพร รวมไปถึงวิทยาศาสตร์แขนงเคมี ชีววิทยา และเทคโนโลยีด้านสิ่งทอ

คำว่า "สีคราม" ตรงกับภาษาอังกฤษว่า "indigo" ซึ่งเป็นคำที่มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก "Indikon" และลาติน "indicum" ซึ่งหมายถึงสิ่งของที่มาจากอินเดีย ชี้ให้เห็นว่ามีการนำเข้าสีครามจากอินเดียสู่ดินแดนของกรีกและโรมันตั้งแต่ครั้งโบราณ ในช่วงปี ค.ศ. 1700-1800 เป็นยุคที่สีครามจากธรรมชาติรุ่งเรืองถึงจุดสูงสุด มีการผลิตและการใช้สีครามจากธรรมชาติกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก มีรายงานว่าในปี ค.ศ.1780 เฉพาะกรุง รัโอ เดอ จาเนโร ในประเทศบราซิล มีโรงงานผลิตสีครามถึง 406 โรงงาน จวบจนกระทั่งปี ค.ศ.1856 W.H.Perkin ได้ผลิตสีสังเคราะห์ Mauveine ขึ้นเป็นครั้งแรก หลังจากนั้นสีสังเคราะห์ก็มีบทบาทแทนสีธรรมชาติมากขึ้นๆ ภายในช่วงเวลา 50 ปีมีการใช้สีสังเคราะห์ถึง 90% ของสีย้อมทั้งหมดและในปี ค.ศ.1897 K.Heumann ได้ผลิตสีครามสังเคราะห์ได้

สำเร็จ กระบวนการสังเคราะห์สีครามมีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับ ทำให้ครามสังเคราะห์มีราคาถูกกว่า และมีคุณภาพเหนือกว่าสีครามจากธรรมชาติที่มักจะมีสารอื่นเจือปนทำให้ได้สีที่แตกต่างไปจากสีครามสังเคราะห์ และด้วยความเหนือกว่าของสีครามสังเคราะห์ที่ให้เฉดสีที่เหมือนกันทุกครั้ง ทำให้ผู้ย้อมสีครามหันมาใช้ครามสังเคราะห์ในที่สุด จนเป็นเหตุให้โรงงานผลิตสีครามธรรมชาติขนาดใหญ่ 2,800 โรงงาน ที่มีอยู่ในช่วงปี ค.ศ.1880 ต้องเลิกกิจการเหลือเพียง 121 โรงงาน ในปี ค.ศ. 1911

สำหรับประเทศไทยท้องถิ่นที่ยังมีการอนุรักษ์การย้อมครามธรรมชาติอยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจากการที่คณะผู้วิจัยได้ออกสำรวจสถานการณ์ภาพการใช้สีครามธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2543-2544 พบว่ามีผู้ย้อมครามธรรมชาติหรือครามธรรมชาติผสมกับครามสังเคราะห์หลงเหลืออยู่ไม่มากนัก ทำกัน 1 หรือ 2 ครัวเรือน ในเขต อ.ทุ่งหัวช้าง จ.ลำพูน อ.ฮอด อ.จอมทอง อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ อ.เชียงของ จ.เชียงราย อ.สูงเม่น และอ.เมือง จ.แพร่

สาเหตุที่ทำให้การย้อมสีด้วยครามธรรมชาติในไทยลดน้อยลงและเสื่อมสูญไปในบางท้องถิ่นเนื่องจาก

ก. การย้อมสีครามจากธรรมชาติขั้นตอนยุ่งยาก ซับซ้อน ผู้ย้อมต้องมีประสบการณ์ในการสังเกตดูแลเอาใจใส่หม้อย้อมครามมาก จึงจะทำการย้อมได้ดี ในหมู่บ้านหนึ่งๆ มีผู้เชี่ยวชาญการย้อมครามเพียง 1 หรือ 2 คนเท่านั้น

ข. การย้อมครามเป็นเทคนิคที่ปกปิดและมีการถ่ายทอดกันตามสายโลหิตจากแม่ไปสู่ลูก จากยายไปสู่หลาน จึงทำให้การย้อมครามไม่แพร่หลายไปมากนัก

ค. ผู้ย้อมครามจะมีมือสีคล้ำเหมือนสีคราม และครามมีกลิ่นเฉพาะตัวบางคนบอกว่าเหม็น แต่บางคนก็บอกว่าหอม จากมือที่เป็นสีครามล้างออกยาก และกลิ่นเฉพาะตัวของครามนี้เอง ทำให้มีผู้นิยมย้อมครามธรรมชาติน้อยลง

ง. มีความเชื่อมากมายเกี่ยวกับสีคราม เช่นกล่าวว่าครามเป็นสิ่งมีชีวิตบ้างหรือมีความเชื่อว่าผู้ที่ย้อมครามเมื่อแก่ลงจะเป็นผีปอบ จากความเชื่อนี้ทำให้มีผู้นิยมทำครามน้อยลง

จ. ในช่วงที่มีการผลิตสีสังเคราะห์ออกสู่ท้องตลาด ทำให้ผู้ย้อมสามารถเลือกใช้สีที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งวิธีการใช้ก็สะดวกสบายรวดเร็วผู้ย้อมจึงหันมาใช้สีสังเคราะห์แทนสีครามธรรมชาติและสีธรรมชาติอื่นๆ

3.1.1 พันธุ์ไม้ที่ให้สีคราม

พันธุ์ไม้ที่ให้สีครามมีหลากหลายสกุล หนึ่งในนั้นได้แก่ พืชในสกุล *Indigofera* ซึ่งปลูกและใช้มากในทวีปอเมริกา ออฟริกา และเอเชีย *Indigofera* สายพันธุ์ที่นิยมใช้ย้อมสีครามธรรมชาติได้แก่

Indigofera arrecta ปลูกมากในประเทศอินเดีย ให้ผลผลิตใบครามสูง จึงให้ครามปริมาณมากตามไปด้วย

Indigofera suffruticosa Miller ssp. *suffruticosa* ครามใหญ่ (อุบลราชธานี) หรือครามเถื่อน

Indigofera suffruticosa Miller ssp. *guatemalensis*

Indigofera tinctoria ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้สกัดสีครามในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นไม้พุ่มสูงประมาณ 1-1.5 เมตร ใบ ประกอบแบบขนนกเรียงสลับ ดอกช่อออกตามซอกใบ แต่ละดอกมีลักษณะคล้ายดอกถั่ว ยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร กลีบดอกสีชมพูและเป็นฝักเล็กๆ ฝักออกเป็นกระจุก ฝักตรงหรือฝักงอโค้งเล็กน้อยภายในฝักมี 7-12 เมล็ด(รูป 3.1ก)

นอกจากนี้ยังมีพืชในสกุลอื่นๆ ที่ให้สีครามได้แก่

Polygonum tinctorium ใช้มากในจีน เวียดนาม และญี่ปุ่น

Isatis tinctoria ใช้กันมากในทวีปยุโรป มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า "woad"

Lonchocarpus cyanescens ใช้กันมากในไนจีเรีย อัฟริกาตะวันตก

Wrightia tinctoria ใช้มากในอินเดีย

Strobilanthes flaccidifolius หรือ *Baphicacanthus cusia* ใช้มากใน ไทย ลาว เวียดนาม ในประเทศไทย เรียกพืชชนิดนี้ว่า "ฮ่อม"



รูปที่ 3.1 ก. ต้นคราม (*Indigofera tinctoria* Linn.)

ข. ต้นฮ่อม (*Baphicacanthus cusia* Brem.)

ในการวิจัยนี้ทำการสกัดสีครามจากพืช 2 ชนิดคือ *Baphicacanthus cusia* Brem. และ *Indigofera tinctoria* Linn.

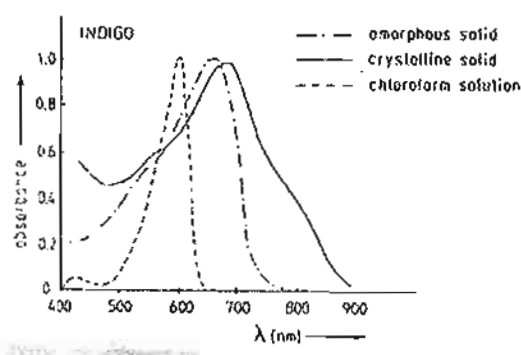
3.1.2 ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ว่าด้วยสีครามและการย้อม

สีคราม หรือ Indigo blue เป็นสารอินทรีย์ประเภทอัลคาลอยด์ จัดเป็นสีย้อมแปลงรูป (vat dye) ชนิดหนึ่งนิยมใช้ย้อมผ้าฝ้ายหนาๆ หรือผ้ายีนส์ (Denim) ให้มีสีน้ำเงิน นอกจากนี้ยังใช้ย้อมเส้นไหมได้อีกด้วย

อินดิโกมีโครงสร้างเป็น ทรานไอโซเมอร์ในสภาวะที่เป็นของแข็งและสารละลาย การที่อินดิโกมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์และมีขั้วสูงทำให้มีความสามารถในการละลายไม่ดีและมีจุดหลอมเหลวสูงคือ 390-392 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามสามารถตกตะกอนผลึกอินดิโกได้โดยใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วและมีจุดเดือดสูงเช่น ไนโตรเบนซีน และอะนิลีน จะได้ผลึกปริซึมสีแดงเหลืองทองแดงสีของอินดิโกขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมเช่น เป็นสีแดงเมื่อกลายเป็นไอ เป็นสีม่วงเมื่อละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วและเป็นสีน้ำเงินในสภาวะของแข็งหรือละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วดังแสดงในตาราง 3.1 และรูป 3.2

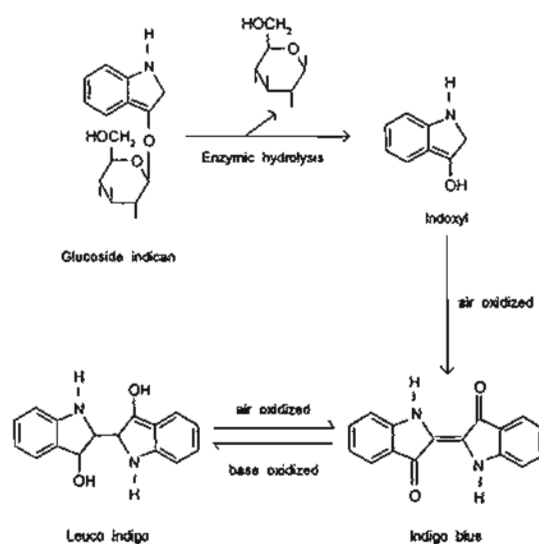
ตารางที่ 3.1 Influence of solvent on absorption

Compound	Solvent	Dielectric constant (20°C)	λ_{max} (nm)
Indigo	Vapour	-	540
	Carbontetrachloride	2.2	588
	Xylene	2.3-2.6	591
	Ethanol	24.3	606
	Dimethylsulphoxide	46.3 (25°C)	620
	Solid, in KBr	-	660



รูปที่ 3.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอินดิโกในคลอโรฟอร์มและในสถานะของแข็งที่เป็น amorphus และเป็นผลึก

ในประเทศไทยอินดิโกจากธรรมชาติได้มาจากการหมักพืช เช่น คราม (*Indigofera tictiria* Linn.) และฮ่อม (*Baphicacanthus busia* Brem.) พืชประเภทนี้จะมีอินดิแคนซึ่งเป็นสารกลูโคไซด์ตัวหนึ่ง เมื่ออินดิแคนถูกไฮโดรไลสจะกลายเป็นอินดอกซิลซึ่งเป็นบรรพสารที่ไม่มีสีของอินดิโกในกระบวนการย้อมสีแปลงรูปสีจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนนำไปย้อมผ้าจากนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนให้กลับมาอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำตามเดิม ในกรณีของอินดิโกก่อนนำไปใช้ย้อมสีจะถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปลิวโค(Leuco form) หมายถึงรูปที่ไม่มีสีซึ่งละลายน้ำได้จากนั้นเมื่อโดนกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์กลับคืนเป็นสีน้ำเงินที่ไม่ละลายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเกิดสีอินดิโก

ปัจจุบันนี้การย้อมสีอินดิโกจากธรรมชาติมีเหลืออยู่เพียงบางแห่งเท่านั้นเช่นที่จังหวัดแพร่ สุรินทร์ อุตรธานี กาฬสินธุ์ สกลนครและเชียงใหม่ ถิ่นที่ยังมีการย้อมอินดิโกอยู่นี้จะเป็นถิ่นที่อยู่ใกล้ความเจริญหรือบางถิ่นเป็นถิ่นที่มีการทอดผ้าย้อมสีอินดิโกขาย การย้อมสีอินดิโกได้เริ่มหายไปนั้นมีสาเหตุมาจาก

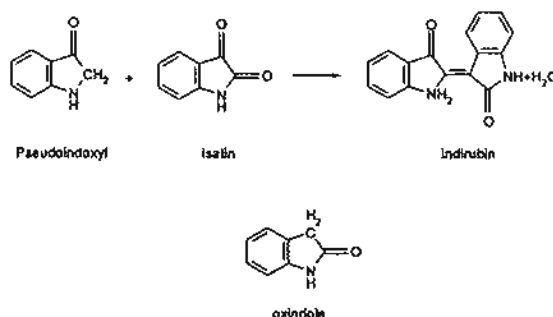
ก. การย้อมสีอินดิโกเป็นสีที่ยุ่งยากซับซ้อนมีขั้นตอนมาก ผู้ย้อมต้องอาศัยประสบการณ์ในการสังเกตและเอาใจใส่หม้ออินดิโกมาก จึงพบว่าในหมู่บ้านหนึ่งๆ มีช่างทำอินดิโกอยู่เพียง 1 หรือ 2 คนเท่านั้น

ข. การถ่ายทอดความรู้ในการย้อมสีอินดิโกมักจะถ่ายทอดกันตามสายโลหิตจากแม่สู่ลูกจากยายสู่หลาน จึง

ทำให้การย้อมสีอินดิโกไม่แพร่กระจายไปมากนัก

ในการสกัดเอาอินดิโกจากพืชเหล่านี้จะได้อินดิกริบินออกมาด้วย ซึ่งสูตรโมเลกุลเป็น $C_{16}H_{10}O_2N_2$ (ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง pseudoindoxyl และ isatin) มีจุดหลอมเหลว $315^{\circ}C$ มีสี

แดงดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 551 นาโนเมตร ใน dimethylsulphoxide สีนินดิรูบินนี้ไม่สามารถใช้ในการย้อมสีผ้าได้เพราะในระหว่างการเตรียมสีย้อมจะแตกออกเป็น pseudoindoxyl กับ oxindole ใน alkaline reducing agent ซึ่ง pseudoindoxyl จะเกิดออกซิไดซ์กลับไปเป็นอินดิโกได้ ส่วน oxindole นั้นไม่ละลายแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการเกิดสีนินดิรูบิน

ในทางการแพทย์ของประเทศจีนใช้นินดิรูบินในการรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดผิดปกติ รักษาการอักเสบและติดเชื้อจากแบคทีเรียและไวรัส นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารต้านมะเร็งโดยจากการศึกษาพบว่า นินดิรูบินสามารถยับยั้งการเกิด Lewislung carcinoma ในหนู mice และ Walker carconosacoma 256 ในหนู rats และเมื่อให้นินดิรูบินในขนาด 300-450 มิลลิกรัมต่อวันแก่คนไข้ที่เป็น Chronic myelocytic leukemia พบว่า 26% ไม่ตอบสนองต่อการรักษา 33.4% ตอบสนองต่อการรักษาและเมื่อให้นินดิรูบินเป็นเวลา 1.5-6 เดือนพบว่าทำให้มีการทำงาน 5'-nucleotidase ในเม็ดเลือดขาวมากขึ้นทำให้อาการรุนแรงของโรคลดลง

3.1.3 ภูมิปัญญาดั้งเดิมในการเตรียมสีย้อม และการย้อมครามจากธรรมชาติ

จากการค้นคว้าเอกสารและการลงปสำรวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่โดยตรง พบว่าการย้อมครามธรรมชาติโดยภูมิปัญญาดั้งเดิม ในขั้นตอนการเตรียมสีย้อม มี 3 วิธี ใหญ่ๆ ดังนี้

- ก. การเตรียมโดยใช้น้ำสกัดสีย้อมออกจากใบพืช และย้อมเส้นใยในน้ำย้อมนี้โดยตรง
- ข. เตรียมโดยนำใบพืชมาหมัก แต่ไม่แยกสารให้สีออกจากใบพืช
- ค. เตรียมโดยการนำพืชมาหมัก และแยกสารให้สีออกจากใบพืช

แบบ ก. การย้อมวิธีนี้ กระบวนการทั้งหมดของการย้อมครามเกิดรวมอยู่ในหม้อย้อม มีการใส่ใบพืชสด และ

นำลงไปในหม้อย้อมพร้อมกับส่วนผสมอื่นๆ เช่น น้ำด่างซีเด้า หรือปัสสาวะ การหมักจะเกิดขึ้นในขณะที่น้ำย้อมมีสภาพเป็นด่าง วิธีการนี้มีข้อจำกัด ใช้ย้อมเส้นใยปริมาณน้อย ในการย้อมแต่ละครั้งสีที่ได้ไม่เข้ม ต้องย้อมซ้ำแล้วซ้ำอีกหลายครั้งเป็นเวลาแรมปี